



**Soraia Raquel da Silva Botelho**

Licenciada em Engenharia Geológica

## **Modelo Hidrogeológico e Rede de Monitorização da Água Subterrânea na Zona Industrial e Logística de Sines (ZILS)**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Geológica (Georrecursos)

Orientador: Professora Doutora Maria Manuela Malhado  
Simões Ribeiro, Prof. Auxiliar, FCT/UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Joaquim António dos Reis Silva Simão  
Arguente: Prof. Doutor Albino Luís Carvalho Medeiros  
Vogal: Prof. Doutora Maria Manuela Malhado Simões Ribeiro



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Setembro 2015**



**Soraia Raquel da Silva Botelho**

Licenciada em Engenharia Geológica

**Modelo Hidrogeológico e Rede de Monitorização da  
Água Subterrânea na Zona Industrial e Logística de  
Sines (ZILS)**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Geológica (Georrecursos)

Orientador: Professora Doutora Maria Manuela Malhado Simões  
Ribeiro, Prof. Auxiliar, FCT/UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Joaquim António dos Reis Silva Simão  
Arguente: Prof. Doutor Albino Luís de Carvalho Medeiros  
Vogal: Prof. Doutora Maria Manuela Malhado Simões Ribeiro

**Setembro 2015**

## **MODELO HIDROGEOLÓGICO E REDE DE MONITORIZAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NA ZONA INDUSTRIAL E LOGÍSTICA DE SINES (ZILS)**

Copyright” em nome de Soraia Raquel da Silva Botelho, FTC/UNL e UNL.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação contou com importantes apoios, incentivos e contribuições, diretas ou indiretas, que sem elas não se teria tornado realidade e a quem estarei eternamente grata.

A todos os meus professores pela sua dedicação, firmeza e assistência, permitindo-me encarar a minha vida profissional de forma mais capaz e habilitada.

À Professora Manuela Malhado Simões Ribeiro pela sua orientação, disponibilidade e amizade, pelas suas opiniões e críticas, pela sua total colaboração e contribuição dos seus conhecimentos e experiência profissional.

Ao Professor Albino Luís de Carvalho Medeiros, pela possibilidade de abordar este tema e por permitir e facilitar o acesso a relatórios e dados sobre a zona.

À empresa aicep Global Parques, S.A. por proporcionar o tratamento de dados confidenciais e pela simpatia.

À Dra. Judite Fernandes pela sua imediata disponibilidade e boa disposição.

Ao Professor António Chambel pelo fornecimento de documentação fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Engenheiro André Matoso por permitir o uso de informação dos arquivos da APA e pela sua simpatia.

Aos meus amigos, mais recentes e mais antigos, pela sua ajuda, força e paciência. Não podendo deixar de referenciar alguns deles, Inês Borges, Sílvia Mendes, Sílvia Almeida, Ricardo Ferreira, Pedro Fonseca, Diogo Fonseca, Tiago Carmo, Emanuel Sousa, Mariana Pinto, Ana Rita Ferreira, Ana Luísa Ramada, Catarina Fernandes, Yucânia da Cruz, David Silva, Raul Conceição, João Miranda, João Pedro Ferreira e Pedro Venâncio.

A toda a minha família, em especial à minha avó materna, Deolinda Esteves, e à minha mãe, Alice Silva, pelo carinho, apoio e compreensão e porque sem elas alguns dos meus objetivos não teriam sido alcançados.

E especialmente à minha irmã, Melissa Botelho, pelo seu apoio incondicional e principalmente pela sua capacidade de me dizer sempre a verdade, ajudando-me a crescer como pessoa e como profissional.

Finalmente, a todos os que fazem parte da minha vida, um muito obrigado.



## RESUMO

Na Zona Industrial e Logística de Sines (ZILS) estão instaladas empresas e indústrias que interferem na quantidade e qualidade da água subterrânea de aquíferos da região. Estas utilizam e libertam poluentes que, conseqüentemente, quando não cumpridas as normas de segurança, podem causar impactes no ambiente. A ZILS situa-se no Sistema Aquífero de Sines, na Massa de Água 032-Sines, este é constituído por dois aquíferos, um superficial detrítico livre e outro carbonatado profundo confinado. Apesar de se encontrarem separados em grande parte da sua extensão, na região sul, estes aquíferos encontram-se em conexão hidráulica. Esta ocorre a este da falha da Maria das Moitas onde, a partir da qual e até ao limite com o Paleozóico, não foi reconhecida a unidade argilosa do Miocénico, aumentando assim a vulnerabilidade do sistema e a pertinente otimização da rede de monitorização.

Para a realização de um estudo mais aprofundado e avaliação dos efeitos sobre as águas subterrâneas na área de estudo, definiu-se uma metodologia de trabalho que engloba 4 etapas: (i) revisão bibliográfica; (ii) recolha de dados geológicos e hidrogeológicos dos arquivos da aicep Global Parques, S.A., SNIRH e LNEG; (iii) tratamento e análise dos dados obtidos em *ArcG/S* e traçado de perfis geológicos interpretativos; (iv) realização do modelo geológico e hidrogeológico e respetiva adequação da rede de monitorização.

O modelo hidrogeológico concebido mostra que o escoamento no Sistema Aquífero de Sines se processa, predominantemente, de E para W a partir do limite situado no contacto por falha entre as unidades do Paleozóico e Meso-Cenozóico com orientação, quase perpendicular, à ribeira dos Moinhos. A este deste alinhamento é assinalada a presença de um aquífero fissurado sob as areias do Plio-Plistocénico localizado na Formação de Mira. O escoamento neste aquífero faz-se de NE para SW, em direção ao oceano, para a praia de S. Torpes.

**Palavras-Chave:** Modelo Hidrogeológico; Rede de Monitorização; Água Subterrânea; Zona Industrial e Logística de Sines (ZILS).





## ABSTRACT

In the *Zona Industrial e Logística de Sines* (ZILS) there are businesses companies and industries which affect the quantity and quality of groundwater aquifers in this region. They use and release some pollutants and because of that when safety instructions are not followed, serious impacts in the environment can be caused. ZILS is located in the *Sistema Aquífero de Sines*, also known as *Massa de água 032-Sines*, and consists of two aquifers, one superficial detrital free and other deep confined carbonated. Despite being separated in the most of their length, in south of the study area they are in hydraulic connection. This occurs at the east of *Falha Maria das Moitas* where it starts and extends until the limit with the Paleozoic. Here is not recognized the clay unit of the Miocene, increasing the system's vulnerability and the relevant optimization of the monitoring network.

With the propose of making a depth study about the groundwater and an evaluation of its effects in the study area, a work methodology covering four steps was defined: (i) literature review; (ii) geological and hydrogeological data collection from archives of *aicep Global Parques, S.A.*, *SNIRH* and *LNEG*; (iii) data processing and analysis in *ArcGIS* and interpretive profiles design; (iv) realization of a geological and hydrogeological model and respective adequacy of monitoring network.

The designed hydrogeological model shows that the flow in the *Sistema Aquífero de Sines* proceeds, predominantly, from E to W starting in the contact by failure between the Paleozoic and Meso-Cenozoic units with orientation almost perpendicular to the *ribeira dos Moinhos*. On the east of this alignment is marked the presence of a fissured aquifer at the *Formação de Mira*, under the sands of Plio-Pleistocene. The flow in this aquifer is made from NE to SW, towards the ocean to the beach of *S.Torpes*.

**Keywords:** Hydrogeological Model; Monitoring Network; Groundwater; Zona Industrial e Logística de Sines (ZILS).



## ÍNDICE DE MATÉRIAS

LISTAS DE ABREVIATURAS .....	XV
CAPÍTULO 1 – Introdução .....	1
1.1 – Organização da Tese .....	1
1.2 – Enquadramento e Objetivos .....	1
CAPÍTULO 2 – Monitorização, Redes de Monitorização e Metodologia .....	5
2.1 – Monitorização e Rede de Monitorização de Águas Subterrâneas .....	5
2.2 – Estado da Arte.....	7
2.3 – Metodologia .....	11
CAPÍTULO 3 – Área de Estudo.....	13
3.1 – Caracterização Física.....	13
3.1.1 – Geomorfologia.....	14
3.1.2 – Clima .....	15
3.2 – Caracterização Geológica .....	15
3.2.1 – Litoestratigrafia .....	16
3.2.2 – Tectónica e Neotectónica .....	18
3.3 – Caracterização Hidrológica e Hidrogeológica .....	19
3.3.1 – Sistema Aquífero de Sines / Massa de Água 032 - Sines .....	20
3.3.2 – Vulnerabilidade da Massa de Água 032 – Sines na região da ZILS .....	21
3.3.2.1 – Focos de Contaminação .....	23
CAPÍTULO 4 – Análise dos Dados .....	27
4.1 – Dados Inventariados .....	27
4.1.1 – Dados da aicep Global Parques, S.A.....	27
4.1.2 – Dados do SNIRH.....	31
4.1.3 – Dados do LNEG .....	36
4.2 – Tratamento dos Dados.....	39
CAPÍTULO 5 – Modelo Geológico da Área de Estudo .....	41
CAPÍTULO 6 – Modelo Hidrológico e Hidrogeológico da Área de Estudo .....	45
6.1 – Modelo Hidrológico.....	45
6.2 – Modelo hidrogeológico .....	50
CAPÍTULO 7 – Rede de Monitorização da ZILS.....	55
CAPÍTULO 8 – Considerações Finais, Análise Crítica e Trabalhos Futuros .....	59
CAPÍTULO 9 – Referências Bibliográficas.....	63
ANEXOS.....	69
ANEXO 1 – LOGS DAS SONDAGENS, FUROS E PONTOS DE MONITORIZAÇÃO OBTIDOS ATRAVÉS DO SOFTWARE ROCKWORKS E LEGENDA RASPETIVA.....	70
ANEXO 2 – EVOLUÇÃO DO NÍVEL PIEZOMÉTRICO NO PONTO 516/18 DA REDE DE MONITORIZAÇÃO DE QUANTIDADE DO SNIRH.....	78

ANEXO 3 – VALORES DOS PARAMETROS DE QUALIDADE MEDIDOS NO PONTO DE MONITORIZAÇÃO DE QUALIDADE DO SNIRH, 516/127 .....	80
---	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Ciclo de atividade de monitorização (Adaptado de Uil <i>et al.</i> , 1999). .....	8
Figura 2.2 – Organograma do desenvolvimento do programa de monitorização (Adaptado de European Communities, 2003).....	9
Figura 2.3 – Organograma da metodologia adotada. ....	12
Figura 3.1 – Localização da Zona Industrial e Logística de Sines (ZILS). ....	14
Figura 3.2 – Localização da ZILS (Zona Industrial e Logística de Sines) na Carta Geológica de Portugal, escala 1: 50 000, folha 42-C, Santiago do Cacém (IGM, 1993).....	16
Figura 3.3 – Localização da ZILS no Sistema Aquífero de Sines (Adaptado de Almeida <i>et al.</i> , 2000). ....	20
Figura 3.4 – Áreas Industriais na Zona Industrial e Logística de Sines (Chambel <i>et al.</i> , 2010). ....	24
Figura 3.5 – Identificação das possíveis fontes de contaminação fora do perímetro da ZILS (Adaptado de Chambel <i>et al.</i> , 2010). ....	25
Figura 4.1 – Localização das sondagens hidrogeológicas recolhidas no arquivo da aicep Global Parques, S.A. ....	28
Figura 4.2 – Localização das sondagens hidrogeológicas recolhidas no arquivo do SNIRH. ....	31
Figura 4.3 – Representação gráfica da evolução do nível piezométrico no ponto 516/18 da rede de monitorização nacional (SNIRH, março 2015).....	35
Figura 4.4 – Localização das sondagens hidrogeológicas recolhidas no arquivo do LNEG ..... 36	
Figura 4. 5 – Localização dos perfis e das sondagens hidrogeológicas recolhidas no arquivo da aicep Global Parques, S.A. (verde), SNIRH (vermelho), LNEG (azul) na Carta Geológica , folha 42-C Santiago do Cacém (IGM. 1986).....	39
Figura 5.1 – Perfil 1: <i>Cross section</i> a unir as ribeiras da Sancha e dos Moinhos, com interceção das unidades geológicas do Jurássico, Miocénico, Plio-Plistocénico e Quaternário. ....	41
Figura 5.2 – Perfil 2: <i>Cross section</i> a unir a ribeira da Sancha à serra de Grândola, com interceção das unidades geológicas do Paleozóico, Jurássico, Plio-Plistocénico e Quaternário. ....	42
Figura 5.3 – Perfil 3: <i>Cross section</i> a unir o litoral e Pinheiro, com interceção das unidades geológicas do Paleozóico, Plio-Plistocénico e Quaternário. ....	43
Figura 5.4 – Perfil 4: <i>Cross section</i> a unir a ribeira dos Moinhos à serra de Grândola, com interceção das unidades geológicas do Paleozóico, Triásico, Jurássico, Miocénico, Plio-Plistocénico e Quaternário. ....	43
Figura 5.5 – Perfil 5: <i>Cross section</i> a unir o Maciço Eruptivo de Sines e a ribeira da Junqueira, com interceção das unidades geológicas do Paleozóico, Jurássico, Plio-Plistocénico e Quaternário e o Maciço Eruptivo de Sines.....	44

Figura 6.1 – Linhas de água, pontos cotados e limite da ZILS na base cartográfica, na escala 1:50 000, da carta geológica 42-C. ....	45
Figura 6.2 – Modelo digital do terreno: Imagem <i>Raster</i> dos pontos cotados. ....	46
Figura 6.3 – Modelo digital do terreno: Imagem <i>TIN</i> obtida do <i>Raster</i> em <i>ArcGIS 10.1</i> . ....	46
Figura 6.4 – Aplicação da função <i>Flow Direction</i> ( <i>ArcMap</i> ) para desenho do padrão de escoamento superficial na região da ZILS. ....	48
Figura 6.5 – Representação esquemática da direção e sentido do escoamento superficial na zona da ZILS. ....	48
Figura 6.6 – Rede de drenagem estimada pelo <i>Flow Accumulation</i> . ....	49
Figura 6.7 – Bacias hidrográficas simuladas a partir do modelo digital do terreno na área da ZILS. ....	50
Figura 6.8 – Perfil A: Representação das unidades hidrogeológicas e da direção do escoamento subterrâneo entre as ribeiras da Sancha e dos Moinhos. ....	51
Figura 6.9 – Perfil B: Representação das unidades hidrogeológicas e da direção do escoamento subterrâneo entre a ribeira da Sancha e a serra de Grândola. ....	52
Figura 6.10 – Perfil C: Representação das unidades hidrogeológicas e da direção do escoamento subterrâneo entre a ribeira dos Moinhos e a serra de Grândola. ....	52
Figura 6.11 – Perfil D: Representação das unidades hidrogeológicas e da direção do escoamento subterrâneo entre a região de Pinheiro e o oceano, passando pela ribeira da Junqueira. ....	53
Figura 6.12 – Perfil E: Representação das unidades hidrogeológicas e da direção do escoamento subterrâneo numa secção paralela à linha de costa, entre o Maciço Eruptivo de Sines e a ribeira da Junqueira. ....	53
Figura 6.13 – Modelo hidrogeológico esquemático em 3D para a região da ZILS. ....	54
Figura 7.1 – Separação da área de ocorrência de artesianismo repuxante, a norte e oeste do alinhamento (azul) (Adaptado de Chambel <i>et al.</i> , 2010). ....	58

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 4.1 – Dados das sondagens do arquivo da aicep Global Parques, S.A. ....	29
Quadro 4.2 – Dados do arquivo do SNIRH ( <a href="http://snirh.apambiente.pt/">http://snirh.apambiente.pt/</a> ).....	33
Quadro 4.3 – Parâmetros de qualidade analisados nas águas subterrâneas.....	35
Quadro 4.4 – Dados do arquivo do LNEG (GEOPORTAL: <a href="http://geoportal.lneg.pt/">http://geoportal.lneg.pt/</a> ). ....	37
Quadro 7.1 – Profundidade dos tubos ralos dos piezómetros da aicep Global Parques, S.A. ..	57





## LISTAS DE ABREVIATURAS

**3D** – Três Dimensões

**A2** – Autoestrada 2

**AMSS** – Serviço Móvel Aeronáutico via Satélite

**APA** – Agência Portuguesa do Ambiente

**ARH** – Administração da Região Hidrográfica

**BTEX** – Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno

**CNP** – Companhia Nacional de Petroquímica

**DRASTIC** – Índice de Vulnerabilidade (D – Profundidade do topo do aquífero; R – Recarga do aquífero; A – Material do aquífero; S – Tipo de Solo; T – Topografia; I – Impacto da zona não saturada; C – Condutividade Hidráulica)

**E** – Este

**EDP** – Eletricidade de Portugal

**EN** – Estrada Nacional

**EPNA** – Método que atribui uma classe de vulnerabilidade em função das características litológicas / hidrogeológicas de uma área. Proposto pela Equipa de Projeto do Plano Nacional da Água de Portugal, 1998

**ERHSA** – Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Alentejo

**ETARs** – Estações de Tratamento de Águas Residuais

**ESRI** – Environmental Systems Research Institute

**FCT/UNL** – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

**FORGAES** – Project To Improve Environmental Management in El Salvador

**GOD** – Índice de Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas (G – Groundwater hydraulic confinement; O – Overlaying strata; D – Depth to groundwater table)

**IAPMEI** – Instituto de Apoio às Pequenas e Médias Empresas e Inovação

**ID** – Identificação

**INAG** – Instituto Nacional da Água

**IP8** – Itinerário Principal 8

**IS** – Índice de Suscetibilidade

**LNEG** – Laboratório Nacional de Energia e Geologia

**LNEC** – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

**M** – Meridiano

**MDT** – Modelo Digital do Terreno

**MTBE** – Éter Metil – Terciário Butílico

**N** – Norte

**NE** – Nordeste

**NGC** – Nacional Gás Company (Companhia Nacional de Gás)

**NHE** – Nível Hidrostático

**NW** – Noroeste

**P** – Paralelo

**PBHS** – Plano de Bacia Hidrográfica de Sines

**PEAD** – Polietileno de Alta Densidade

**PEBD** – Polietileno de Baixa Densidade

**PGRH** – Plano de Gestão da Região Hidrográfica

**PGS** – Promoção e Gestão de Águas Industriais e Serviços S.A.

**pH** – Potencial Hidrogeniónico

**PTA** – Ácido Tereftálico

**PVC** – Cloreto de Polivinilo

**QSiGA** – Questões Significativas da Gestão da Água

**RAN** – Reserva Agrícola Nacional

**REN** – Rede Ecológica Nacional

**RH6** – Região Hidrográfica do Sado e Mira

**S** – Sul

**Sat** – Saturado

**SE** – Sudeste

**SIG** – Sistema de Informação Geográfica

**SNIRH** – Sistema Nacional da Informação de Recursos Hídricos

**SW** – Sudoeste

**TIN** – Triangulated Irregular Network (Rede Triangular Irregular)

**TMN** – Telecomunicações Moveis Nacionais, S.A.

**TPH** – Total Petroleum Hydrocarbon

**UNEP / WHO** – United Nations Environment Programme / World Health Organization

**UNL** – Universidade Nova de Lisboa

**VMA** – Valor Máximo Admissível

**VMR** – Valor Máximo Recomendável

**W** – Oeste

**ZILS** – Zona Industrial e Logística de Sines

## **CAPÍTULO 1 – Introdução**

### **1.1 – Organização da Tese**

A dissertação encontra-se organizada em 9 capítulos. No primeiro capítulo é apresentado o enquadramento geral e a justificativa do estudo, com os respetivos objetivos a atingir. O segundo capítulo descreve a monitorização e as redes de monitorização de água subterrânea, o estado da arte associado ao tema e a metodologia utilizada no trabalho. No capítulo terceiro procede-se à caracterização física, geológica, hidrológica e hidrogeológica da área de estudo. Neste capítulo é, também, descrito o Sistema Aquífero de Sines e as suas vulnerabilidades, visto que a ZILS se situa sobre este sistema. O capítulo quatro descreve a inventariação e o tratamento dos dados. O quinto capítulo apresenta o modelo geológico da área de estudo, baseado no traçado de perfis. No capítulo sexto é proposto o modelo hidrológico e hidrogeológico do escoamento superficial e subterrâneo. No capítulo sétimo é descrita a rede de monitorização em funcionamento na ZILS. No oitavo capítulo apresentam-se as considerações finais, análise crítica e recomendações para trabalhos futuros. No nono capítulo são listadas as referências bibliográficas. Por último, contam os anexos referentes aos *logs* das sondagens, furos e pontos de água utilizados para a realização deste trabalho e a respetiva legenda; ao nível piezométrico da água subterrânea no ponto de monitorização 516/18; e às análises de qualidade da água no ponto 516/127.

### **1.2 – Enquadramento e Objetivos**

O tema abordado neste trabalho surge de imperativos ambientais suscitados no âmbito da atuação da aicep Global Parques, S.A. na Zona Industrial e Logística de Sines (ZILS). Esta entidade detém a ZILS sob sua jurisdição devido a um acordo de gestão celebrado com o IAPMEI (Instituto de Apoio às Pequenas e Médias Empresas e à Inovação), proprietário dos terrenos.

O desenvolvimento sustentável tem sido para a aicep Global Parques, S.A. uma prioridade, na qual se incluem as atividades da ZILS. Esta preferência surge do embrionário conceito da zona industrial de Sines, nos anos 70, com vista ao desenvolvimento estratégico de Portugal. Tinha como finalidade a criação de uma área industrial concentrada para aproveitamento dos recursos nacionais e a facilitação da instalação ou ampliação de setores da indústria básica. Na década de 80 ocupava cerca de 600 ha com indústrias como a Central Termoelétrica a carvão, a Refinaria da Petrogal ou a Petroquímica da Borealis (antiga CNP e atual Repsol). Remonta a 1971 a constituição de uma entidade gestora, com o Gabinete da Área de Sines que deu lugar, em 1990, à *PGS – Promoção e Gestão de Áreas Industriais e Serviços, S.A.* Em 2007, a aicep Global Parques, S.A. passa a deter a maioria da ZILS, com 91,19 % do capital

investido, em parceria com o IAPMEI (5,37 %), a Câmara Municipal de Sines (0,65 %) e a Caixa Geral de Depósitos (0,65 %).

Vocacionada para oferecer soluções estratégicas para a localização empresarial, com base em informação, conhecimento e serviços, a ZILS é o maior espaço empresarial da Península Ibérica. Conta com mais de 2000 ha situados no distrito de Setúbal e nos concelhos de Sines, Santo André e Santiago do Cacém. A proximidade ao porto de Sines e as condições oferecidas ao nível das infraestruturas de acesso intermodais, nomeadamente, bons acessos e estruturas de apoio ao transporte marítimo, rodoviário, ferroviário e aéreo são fator atrativo ao investimento nacional e estrangeiro. Na sua conceção estava prevista a interligação ao maior porto de mar nacional, ao atual e futuro aeroporto de Lisboa, ao aeroporto de Beja, ao IP8 e a ligação à A2. O complexo de Sines ficaria assim, a partir de 2010, com ligação direta à rede europeia de autoestradas e, ao nível da ferrovia, com a possibilidade de ligação à rede de alta velocidade para mercadorias (Portugalglobal, 2008).

Para o porto de Sines, a ZILS é uma grande vantagem competitiva e peça crucial para garantir a entrada e saída de mercadorias, uma vez que está vocacionada para produzir e abastecer o mercado português e espanhol, bem como, outros servidos por mar. Contudo pensando no equilíbrio e na sustentabilidade, a ZILS procurou diversificar o tipo de indústrias e outras atividades instaladas. Estas características são particularmente atrativas para sectores como o petroquímico, energético e biocombustíveis por serem projetos de vida longa e, por isso, economicamente sustentados, tecnologicamente evoluídos e ambientalmente equilibrados (Francisco Sá *in* Portugal Global, 2008). Na ZILS estão instaladas empresas como a Petrogal, Repsol Polímeros, EDP Produção, Metalsines, Euroresinas, Artenius, Refinaria da Galp, Galp Power, NGC – National Gás Company (Rússia), Artelia Ambiente, Artlant, Enerfuel, Vodafone, TMN-MEO, Optimus-NOS, Kimaxtra – Moagem de Clinquer, Evonik, Carbogal, Recipneu, Air Liquide, REN Gasodutos, Mossines – Cimpor, entre outras (aicep Global Parques, 2014).

Para além da prestação de serviços de gestão integrada, a ZILS atua também ao nível da qualificação de recursos humanos. Detém no seu Edifício de Negócios a Escola Tecnológica do Litoral Alentejano com oferta letiva em Metalomecânica, Gestão Informática, Eletrónica, Instrumentação Industrial, Química Tecnológica, Construção Civil, Saúde, Segurança e Ambiente (aicep Global Parques, 2014).

As empresas instaladas neste parque industrial exercem fortes pressões sobre os recursos hídricos. Como tal, em cumprimento do quadro de ação comunitária no domínio da política da água, previsto na Diretiva Quadro da Água e na Diretiva Filha (*Diretiva n.º 2000/60/CE* e *Diretiva n.º 2006/118/CE*) e respetivas transposições para a ordem jurídica interna (*Lei n.º 58/2005*, *Decreto-Lei n.º 208/2008*, *Decreto-Lei n.º 77/2006*), ficam obrigadas a proceder à avaliação dos seus efeitos sobre as massas de água superficiais e subterrâneas.

A água subterrânea é um recurso valioso e, por isso, deve ser protegida da deterioração e da poluição química. Quando é fonte de abastecimento público e suporte de ecossistemas sensíveis, a sua proteção é particularmente importante para salvaguardar o ambiente e a saúde humana. Torna-se imperativo evitar e/ou reduzir as concentrações de poluentes na água subterrânea adotando medidas preventivas, de controlo e de avaliação do seu estado químico. Daqui advém a necessidade de proceder à monitorização das massas de água, através da implementação de redes de observação para o efeito. O bom estado químico verifica-se sempre que os resultados da monitorização se encontram dentro das normas de qualidade estabelecidas. A escolha dos pontos de monitorização deve permitir a recolha de dados significativos. Quando se trata de avaliar o impacto de plumas de contaminação identificadas devem fazer-se avaliações adicionais para evitar a sua expansão e para inverter tendências.

O conhecimento das massas de água e a identificação do risco à poluição, bem como, dos poluentes e indicadores de poluição e os respetivos limiares e valores observados, são imprescindíveis a fim de se apurarem as condições para um bom estado químico da água subterrânea. Estimativas de evolução futura de concentração de contaminantes basear-se-ão indiscutivelmente em bons resultados de monitorização apoiados em modelos conceptuais adequados e representativos. A frequência e os locais de monitorização devem ser selecionados para fornecerem informação necessária que permita distinguir as tendências de aumento das variações naturais com nível adequado de fiabilidade e rigor. Ao mesmo tempo devem tornar possível a implementação de medidas que previnam ou mitiguem alterações significativas e prejudiciais ao Homem e ao ecossistema. As características físico-químicas, as condições do fluxo, as taxas de recarga e o tempo de percolação da água no solo, e os métodos de monitorização e análise, incluindo os modelos estatísticos, devem constituir a parte mais importante do trabalho científico desenvolvido no processo de monitorização. Os efeitos da ação do homem necessitam de ser percebidos pela análise efetuada antes e após o programa de monitorização para efeitos de identificação e análise de tendências.

O conhecimento do estado das massas de águas e das pressões a que estas estão sujeitas permite fazer o planeamento e a gestão adequada dos recursos. Ficam assim criadas as condições para a identificação e caracterização de eventuais problemas bem como para a implementação de ações e medidas para a sua proteção e remediação.

As redes de monitorização das águas subterrâneas devem identificar as massas de água que não estão a cumprir com os objetivos ambientais, as que estão a caminhar para esse incumprimento e as alterações resultantes da implementação das medidas propostas. É necessário que os seus pontos incluam todas as massas de água identificadas como risco e as massas de água onde são descarregadas as substâncias prioritárias (ARH Alentejo, 2012).

A grande maioria das indústrias localizadas na ZILS descarrega os seus efluentes no sistema coletivo de drenagem de águas residuais da ZILS para posteriormente serem tratados na

ETAR da ribeira dos Moinhos. Os restantes efluentes são enviados para o sistema coletivo de drenagem de efluente salino, sendo a descarga efetuada a partir do emissário submarino que se localiza no oceano Atlântico (ARH Alentejo, 2012).

Os principais poluentes das águas subterrâneas neste local são os compostos orgânicos derivados do petróleo. No entanto, mesmo sabendo que, geralmente estas são sujeitas a tratamento prévio e a controlo de qualidade, não se devem descartar as descargas residuais e a exploração das indústrias localizadas na ZILS. Outro ponto a ter em conta, no estudo desta zona, é a possibilidade de algumas substâncias encontradas nas águas subterrâneas serem consequência de processos naturais.

Avanços no conhecimento geológico e hidrogeológico são importantes e justificados por permitirem preservar e proteger a água subterrânea, um bem essencial ao desenvolvimento socioeconómico e à manutenção dos ecossistemas, constituindo, por isso, o objetivo primordial deste trabalho.

## **CAPÍTULO 2 – Monitorização, Redes de Monitorização e Metodologia**

### **2.1 – Monitorização e Rede de Monitorização de Águas Subterrâneas**

A necessidade de monitorizar as águas subterrâneas surge de alterações na quantidade e qualidade da água, muitas vezes impercetíveis, por ser um processo lento, em grandes extensões, resultante da ação do homem. Neste sentido é aconselhável estabelecerem-se redes de observação contínuas que permitam recolher informação detalhada. Estas consistem essencialmente na recolha, análise e armazenamento de dados, de forma regular consoante as circunstâncias e os objetivos específicos da rede implementada, para gestão sustentável ou para monitorizar plumas de contaminação.

Uma rede de monitorização é um sistema de observação constituído por um conjunto de poços de extração, de observação (piezómetros) e de nascentes, com o objetivo de recolher informação sobre a quantidade e a qualidade da água subterrânea. É uma ferramenta fundamental porque permite obter dados contínuos, acompanhar a evolução qualitativa ou quantitativa dos aquíferos, planejar e gerir os recursos hídricos e implementar programas de ações e medidas mitigadoras em caso de sobreexploração ou contaminação (INAG, 1999).

A rede deve ser constituída por pontos corretamente localizados e em número suficiente para que, no seu conjunto, constituam a infraestrutura básica para a monitorização representativa das variáveis hidrodinâmicas do aquífero e da qualidade da água, no espaço e no tempo (LNEC, 2008).

A frequência de monitorização das águas subterrâneas deve resultar de um balanço entre o número desejável de amostras necessário para se obterem dados representativos e as verbas disponíveis. A representatividade dos dados depende de um conjunto de especificidades do meio envolvente, tais como, a velocidade do escoamento, a natureza dos poluentes e as suas possíveis interações com o meio, a vulnerabilidade do aquífero e os objetivos da monitorização (LNEC, 2008).

As estratégias de amostragem dependem do tipo de poluentes presentes no local, uma vez que a sua localização, no topo ou na base da água subterrânea, depende principalmente da sua solubilidade e densidade. Existem dois grupos de compostos com comportamentos completamente diferentes, os insolúveis e os solúveis. Os insolúveis ou imiscíveis dividem-se em duas grandes classes: os menos densos que a água e os mais densos que a água. Os poluentes de densidade baixa (hidrocarbonetos como o gasóleo e a gasolina) tendem a migrar verticalmente no solo até atingirem a superfície freática e posteriormente espalham-se sobre ela. Como estes são detetados essencialmente à superfície, os ralos dos furos de amostragem são abertos na zona superior do aquífero. Os poluentes de alta densidade, miscíveis ou imiscíveis, penetram no aquífero até encontrarem uma base impermeável. Estes são detetados em toda a zona saturada e, em especial, sobre a base impermeável dos aquíferos, fazendo



com que os ralos dos furos sejam abertos a diferentes profundidades. Os elementos solúveis ou miscíveis ou parcialmente solúveis possuem densidades diferentes das da água, apresentando uma migração, no subsolo, distinta da água. O seu comportamento é semelhante ao dos insolúveis, no entanto a sua dissolução na água é maior (LNEC, 2008).

Na construção dos piezómetros é necessário também ter em conta a componente técnica e económica deste processo. Os piezómetros deverão ser robustos e não excessivamente dispendiosos. Os diâmetros dos entubamentos e as dimensões das caixas de segurança devem permitir a introdução de instrumentos de medida e possibilitar a colheita de amostras (Paralta *et al.*, 2000).

A elaboração de um projeto de monitorização é bastante complexa, englobando diversas etapas. Como ponto de partida é essencial definir as características da rede, nomeadamente o número de pontos de observação, proprietários, localização e georreferenciação, construção e equipamentos de medição. Também é importante fundamentar o projeto com dados hidrogeológicos do local bem como o tipo de dados que se pretendem recolher. Deve elaborar-se um relatório que contemple os princípios básicos das razões, benefícios, funções e a seleção dos locais para instalação da rede. Especificamente deve proceder-se à análise das condições que determinam a importância, funções e custos envolvidos. Adicionalmente é essencial elaborar um plano ou guia prático com a metodologia utilizada na instalação bem como da forma como são obtidos os dados da rede. A apresentação dos dados deve permitir a elaboração de gráficos e mapas de evolução espaço-temporal de parâmetros críticos ou parâmetros a monitorizar. É igualmente necessário apresentar claramente os aspetos legais e administrativos envolvidos na gestão da própria rede. Os aspetos limitantes destes estudos são, a natureza confidencial da informação recolhida e a existência de tempo, meios e recursos das instituições envolvidas no processo.

Existem dois tipos de redes de monitorização, a rede de quantidade e a rede de qualidade das águas subterrâneas. A rede piezométrica (quantidade) compreende um conjunto de pontos de observação onde periodicamente se efetuam medições do nível da água subterrânea. Esta rede tem como principal objetivo o conhecimento da evolução espaço-temporal dos recursos hídricos subterrâneos, bem como a obtenção de informação de base para estudos hidrogeológicos, calibração dos modelos, determinação das principais direções de fluxo, auxílio na interpretação dos dados de qualidade e deteção de modificações do nível de água subterrânea devido a ações antropogénicas. A rede de qualidade da água subterrânea engloba um conjunto de pontos de amostragem onde periodicamente se efetuam campanhas para controlo das tendências evolutivas de qualidade da água subterrânea. Esta rede compreende atividades de amostragem e de análise com o intuito de coligir, processar, verificar e armazenar dados das propriedades físicas, químicas e biológicas da água. As outras funcionalidades associadas a esse tipo de rede são: controlo da qualidade das origens de água

para abastecimento público, obtenção de dados de base para modelos de poluição, controlo das fontes de poluição pontuais e difusas mais significativas e cumprimento do normativo nacional, comunitário e internacional (Pimenta *et al.*, n.d.).

### 2.2 – Estado da Arte

O conceito de monitorização sofreu diversos aperfeiçoamentos ao longo dos anos. Em 1993, Sanders defendeu que o projeto da rede de monitorização abrange o conceito dos pontos de amostragem, da frequência e duração da amostragem e seleção das variáveis a serem medidas.

UNEP/WHO (1996) definiu a monitorização da qualidade e quantidade da água como a base para a gestão deste recurso, apoiando a tomada de decisões e avaliando a eficácia dessas decisões na proteção, manutenção, melhoria e remediação dos recursos hídricos.

Em 1999, Simoneti, citando Harmancioglu, Ozkul e Alpaslan (1998), definiu a monitorização da qualidade da água como todas as atividades de recolha de dados, a amostragem, análises laboratoriais, processamento e interpretação dos dados obtidos e produção de informação necessária para alcançar os objetivos da rede de monitorização. Estes passos também são citados por Ward (1999) *apud* Simoneti (1999), que defendem ser necessário ter inicialmente uma definição adequada dos objetivos da monitorização. No European Communities (2003) também se defende esta teoria. Uil *et al.* (1999) afirmam que um sistema de monitorização das águas subterrâneas deve discriminar quais as informações necessárias para atingir os objetivos da monitorização e finalizar com a utilidade das informações obtidas (Figura 2.1). Segundo estes autores é necessário ter em conta alguns parâmetros quando é efetuada a caracterização de uma massa de água, nomeadamente:

- O modelo de escoamento das águas subterrâneas;
- A extensão dos aquíferos, aquitardos e aquícludos;
- A identificação do potencial uso da água subterrânea em função da qualidade e quantidade;
- A avaliação da vulnerabilidade e risco de poluição;
- A identificação de situações de sobreexploração;
- E o cálculo de valores de referência para a concentração de constituintes químicos na água.

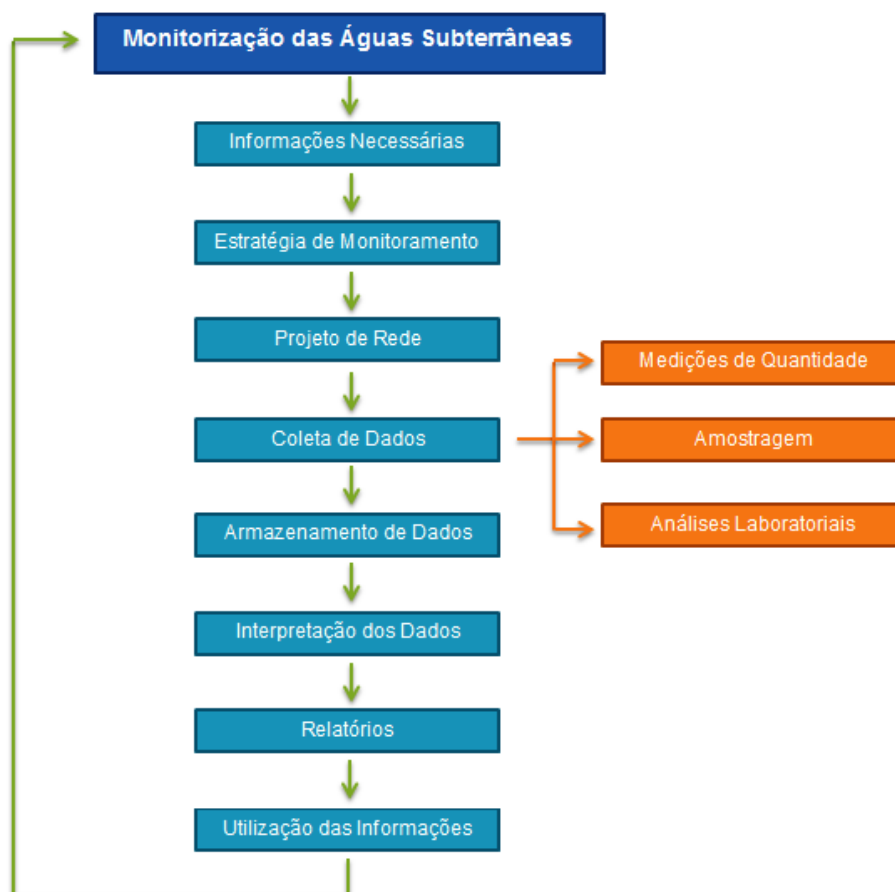


Figura 2.1 – Ciclo de atividade de monitorização (Adaptado de Uil *et al.*, 1999).

Ribeiro *et al.* (1999) defendem que as etapas para a implementação das redes de monitorização consistem:

- a) No inventário hidrogeológico;
- b) Na definição da rede de monitorização de referência (rede geral);
- c) Na avaliação das principais ações antropogénicas que influenciam os sistemas aquíferos;
- d) Na avaliação da representatividade no domínio espaço-tempo das redes piezométricas;
- e) Na análise da representatividade no domínio espaço-tempo das redes de qualidade da água subterrânea;
- f) Na otimização das redes de referência com seleção de novos pontos de amostragem ou omissão de outros, bem como, seleção do conjunto de parâmetros a monitorizar e da frequência de amostragem;
- g) No mapeamento temático das tendências sazonais detetadas nas séries disponíveis;
- h) E na classificação preliminar dos piezómetros e das estações de qualidade com base em padrões temporais semelhantes.

Para Fetter (2001), o projeto da rede compreende a atividade conceitual de definição do propósito da monitorização e a atividade de implementação da rede, onde deve existir seleção de pontos de amostragem, seleção de parâmetros a serem determinados e escolha da frequência de amostragem.

Segundo European Communities (2003) uma rede de monitorização deve ser implementada gradualmente, passo a passo, considerando-se, inicialmente, um modelo conceptual sobre a delimitação tridimensional da massa de água a ser monitorizada, as características químicas e hidrológicas e a vulnerabilidade a fontes de poluição e sobreexploração (Figura 2.2).

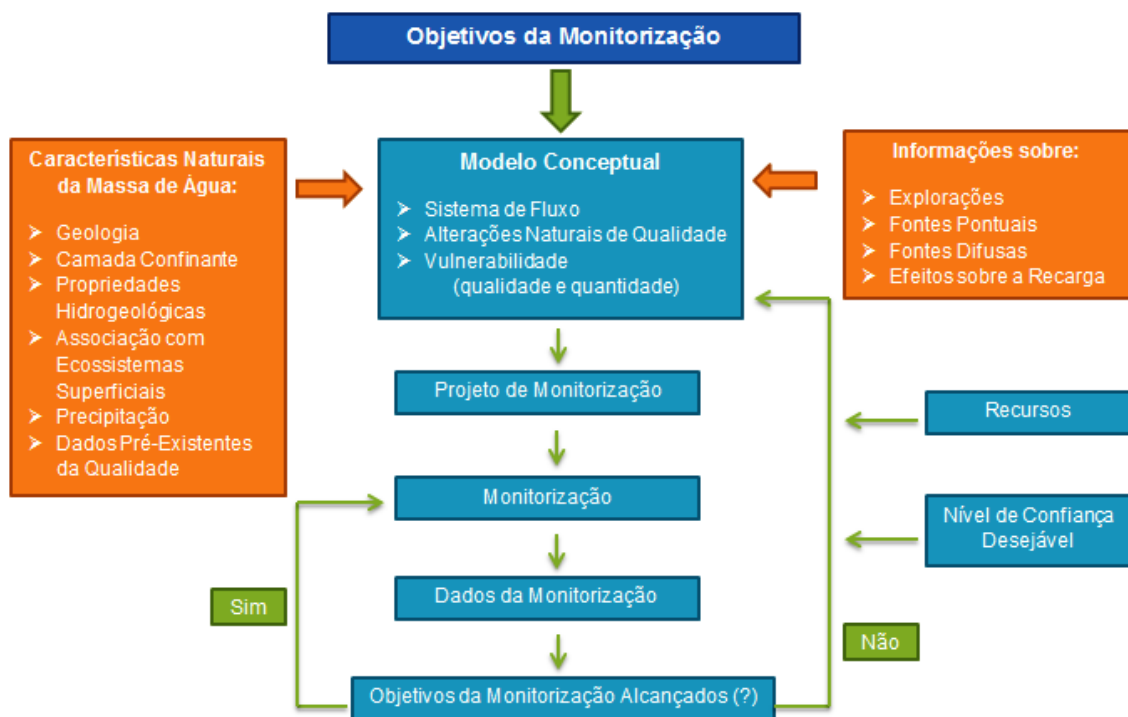


Figura 2.2 – Organograma do desenvolvimento do programa de monitorização (Adaptado de European Communities, 2003).

Tuinhof *et al.*, (2004) afirmam que as alterações na qualidade e quantidade das águas subterrâneas acontecem lentamente, sendo identificadas apenas por uma monitorização bem elaborada e de longo termo. A monitorização fornece informações para o controle de impactes causados pela extração de água e pela carga de poluentes no aquífero.

Dias *et al.*, (2008) afirmam que é possível melhorar o modelo conceptual e a própria monitorização, definindo etapas gerais de monitorização, como:

- Definição dos objetivos da monitorização;

- Elaboração de um projeto de rede (seleção de pontos de monitorização, parâmetros a serem determinados, frequência de amostragem);
- Operação da monitorização (amostragem, análise, interpretação, controle de qualidade);
- Avaliação dos resultados em função dos objetivos para validação da monitorização.

As redes de monitorização podem ser efetuadas tendo em conta a vulnerabilidade de certos locais à poluição. Essa vulnerabilidade pode ser calculada através de diferentes metodologias, empíricas, como o DRASTIC (Aller, Bennett, Lehr & Petty, 1987), o índice de Suscetibilidade (IS) (E. Paralta, Francés & Costa, 2001), o índice GOD e os critérios litológicos (EPPNA, 1998).

A primeira rede de monitorização contínua foi implantada na União Europeia nas zonas de AMSS e Vale de Zapotitán, através do Projeto FORGAES.

Em Portugal, a monitorização dos recursos hídricos surge nas décadas de 30/40 através do apoio ao planeamento hidroelétrico e à rega. Inicialmente as preocupações da monitorização e do controlo da qualidade da água estavam direcionadas para a proteção dos sistemas de abastecimento de água, mas, mais tarde, direcionou-se também para a preservação dos ecossistemas, progredindo-se no sentido do alargamento da monitorização (INAG, 1996).

Em 1994, o INAG deu o primeiro passo para a definição de redes de monitorização e para a gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos. Iniciou um processo de sistematização e atualização da informação sobre os principais sistemas aquíferos de Portugal continental. Este projeto foi intitulado por “Definição, Caracterização e Cartografia dos Sistemas Aquíferos de Portugal Continental”, protocolado com a Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e concluído em 1997. Com base nos resultados de mapeamento deste projeto, foi possível lançar os princípios metodológicos de estruturação das redes de monitorização de quantidade e qualidade a nível nacional para os diferentes meios hidrogeológicos, exemplificados inicialmente para os sistemas aquíferos do Alentejo e posteriormente generalizados à Bacia do Tejo-Sado e Região Oeste. O desenvolvimento dos estudos de monitorização, conjugados com os estudos de apoio aos Planos de Bacia e ao Plano Nacional da Água, conduziram a uma atualização do mapeamento (SNIRH, 2015).

No início de 1999, o INAG definiu uma metodologia expedita que visa a rápida implementação das redes de monitorização das águas subterrâneas. Esta metodologia tem por base as densidades de monitorização, tanto de quantidade como de qualidade para meios distintos (porosos, cársticos e fraturados). Salienta-se que este critério constitui apenas um indicador para zonas deficientemente monitorizadas, uma vez que, as características hidrogeológicas e/ou a ocupação do solo são determinantes para a escolha do número de pontos a selecionar. A atividade de otimização advirá, em último grau, do conhecimento proporcionado pela exploração da rede expedita. Esta abordagem metodológica resultou do cruzamento da experiência do INAG na exploração da informação recolhida sobre os sistemas aquíferos do

país, com o levantamento a nível europeu das densidades das redes piezométricas e de qualidade adotadas e experimentadas em diversos países (Lopes, Rodrigues & Rodrigues, 2000).

A ZILS enquadra-se no modelo regional do sistema Meso-Cenozóico da orla ocidental para a região de Sines definido por Chambel & Monteiro (2007, 2010). Neste foi considerado a existência de dois aquíferos independentes (superior e inferior) com condições de fronteira, áreas de recarga e balanços distintos. Para a realização do modelo foi gerada uma rede de elementos finitos com base na geometria e no conhecimento da estrutura e funcionamento hidráulico do sistema aquífero de trabalhos anteriores (Horta da Silva & Almeida, 1982; Rodrigues, 1985; Lobo-Ferreira *et al.*, 1999; Almeida *et al.*, 2000; ERSHA, 2001). Foram efetuadas as simulações de escoamento e transporte de massa, que serviram de fundamentação para a conceptualização da rede de monitorização do sistema.

Para Zona Industrial e Logística de Sines já foram apresentados programas de monitorização para o aquífero superior, inferior e para as águas superficiais com o intuito de se obter uma descrição da distribuição espacial e uma evolução temporal da qualidade da água. Para o aquífero superior foi proposta uma rede de monitorização constituída por 36 pontos de amostragem, onde 14 desses pontos são novos, com profundidades entre 15 a 20 m. Para o aquífero inferior a rede é constituída por 13 pontos, onde 1 desses pontos é novo, com profundidade de 100 m. Para as águas superficiais, considerou-se apenas necessário amostrar em dois pontos junto à ribeira dos Moinhos. Um ponto com localização fixa, situada a jusante da ZILS, de modo a avaliar o impacto da atividade industrial na qualidade da água e o outro com uma localização móvel, que varia com a identificação de pontos de rejeição de efluentes na ribeira. A frequência de amostragem proposta passa pela recolha de amostras a cada 6 meses, realizada, preferencialmente, no final de cada ano hidrológico. Especificamente deverá ocorrer depois da estação húmida (no mês de março) e depois da estação seca (no mês de setembro). Com o objetivo de acompanhar o estado qualitativo e quantitativo das águas subterrâneas, são medidos continuamente os parâmetros pH, temperatura, condutividade elétrica e potencial hidráulico, nos pontos a instalar para monitorização do aquífero profundo (Chambel *et al.*, 2010).

### 2.3 – Metodologia

A metodologia adotada para atingir o objetivo primordial deste trabalho compreendeu as seguintes fases (Figura 2.3):

1. Revisão bibliográfica, de forma a compilar informação, estudos, artigos e trabalhos realizados na área abrangida e limítrofe da ZILS e sobre as massas de água subterrânea da região;

2. Recolha de dados geológicos e hidrogeológicos de sondagens, furos e pontos de água realizados por entidades públicas e privadas da região, neste caso, pela aicep Global Parques, S.A., SNIRH e LNEG;
3. Compilação e tratamento dos dados obtidos com recurso ao *software ArcGIS*;
4. Proposta de um modelo geológico para a área da ZILS baseada em perfis geológicos interpretativos;
5. Interpretação hidrogeológica e elaboração de um modelo conceptual do escoamento subterrâneo;
6. Rede de monitorização implantada na ZILS para controlo de quantidade e qualidade da água subterrânea nas condições hidrogeológicas descritas no modelo conceptual proposto;
7. Conclusões, análise crítica e recomendações futuras para otimização da rede instalada, nomeadamente no número e localização dos pontos de monitorização e nos dados a recolher.

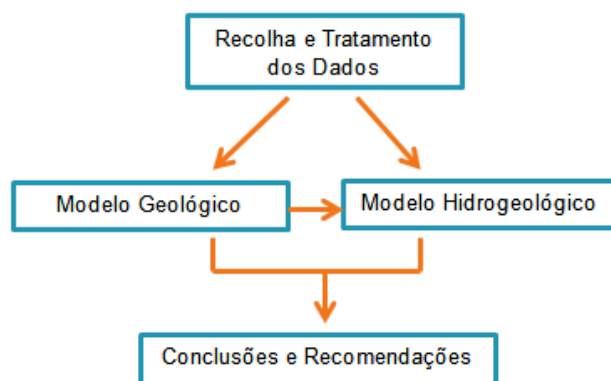


Figura 2.3 – Organograma da metodologia adotada.

## **CAPÍTULO 3 – Área de Estudo**

Trata-se de uma região com forte vocação agrícola, balnear e piscatória. Nos solos, maioritariamente arenosos, é praticada agricultura de sequeiro e regadio. As zonas florestais são caracterizadas pela existência de grandes áreas de pinheiro bravo, eucalipto e montado de sobro, estando o montado de Lentiscais legalmente protegido (Decreto-Lei n.º 169/2001 de 25 de maio). Os solos com capacidade cerealífera de Figueirinha pertencem à reserva agrícola nacional (RAN). Embora afetos à REN os solos situados entre a Repsol e a Metalsines, paralelos à EN 261-3 e ao IP8, encontram-se em pousio ou então classificados como incultos. Com a instalação do porto petrolífero, em Sines, a pesca passou a atividade subsidiária (Portugalglobal, 2008).

A água, tendo em conta cenários de evolução futura, é um fator crítico na decisão por ser determinante para o desenvolvimento social, turístico e industrial na ZILS, na medida em que se deve salvaguardar a minimização de impactes negativos no solo e nas águas subterrâneas, das alterações climáticas e decisões que envolvam a instalação de indústrias com elevados consumos de água. Estes são enquadrados num objetivo de uso sustentável e de crescente escassez hídrica para a região.

No concelho de Sines as massas de água subterrânea constituem uma importante fonte de água para abastecimento público, rega, indústria e consumo privado. Relativamente à sua qualidade surgem problemas relacionados com o potencial de contaminação dos sistemas aquíferos.

### **3.1 – Caracterização Física**

O Alentejo Litoral, com área de 5 261 km<sup>2</sup>, abrange os concelhos de Alcácer do Sal, Grândola, Odemira, Santiago do Cacém e Sines. Os seus principais núcleos urbanos desenvolvem-se na dependência das cidades de Sines, Vila Nova de Santo André, Santiago do Cacém e Alcácer do Sal. A ZILS está implantada num triângulo definido por três destas cidades, Santiago do Cacém, Santo André e Sines, fazendo parte dos seus concelhos. Situa-se na Orla Ocidental de Portugal, numa faixa com largura aproximada de 4 a 14 km limitada pelas bacias do rio Sado, a norte e nordeste, e do rio Mira, a sul e sudoeste. A ocidente comunica com a planície litoral atlântica. Contacta ainda, a norte e noroeste, com a Reserva Natural de Lagoa de Santo André e Sancha e a sul, na Praia de S. Torpes, com o Parque Natural do Sudoeste Alentejano e com a Costa Vicentina (Figura 3.1).





Figura 3.1 – Localização da Zona Industrial e Logística de Sines (ZILS).

### 3.1.1 – Geomorfologia

O projeto ERHSA (2001) distingue duas unidades geomorfológicas na região, a zona de serra e a planície litoral, com cotas crescentes desde o nível médio das águas do mar até aos 250 m aproximadamente.

A zona de serra corresponde à parte meridional da serra de Grândola. Esta apresenta, geralmente, um declive que sobe progressivamente de este para oeste, e os pontos mais altos alinham-se aproximadamente com orientação norte-sul. Próximo das alturas máximas observa-se uma queda brusca para oeste, que corresponde a uma escarpa de origem tectónica. Junto a Santiago do Cacém observa-se uma situação distinta, a superfície que sobe a este atinge a parte mais alta da serra antes de se encontrar com a escarpa de falha, prolongando-se assim, para oeste (ERHSA, 2001).

Na planície litoral, a cota não ultrapassa os 150 m. Esta apresenta declive para oeste, na ordem dos 0,5 a 1,5 % e, comparativamente à zona de serra, esta unidade geomorfológica é relativamente monótona, com exceção para a zona de falhas que marca um degrau na escarpa de Deixa-o-Resto que se atenua para sul (ERHSA, 2001).

No geral, na região da ZILS os declives são pouco acentuados. As cotas oscilam entre os 20 e os 50 m, e descem gradualmente dos 150 aos 90 m, como se observa junto às serras do Cercal e Grândola. O relevo é recortado por linhas de água, pelas ribeiras da Sancha e Bêbedos, dos Moinhos e da Junqueira, que drenam para o oceano Atlântico, segundo orientação dominante este-oeste.

A orografia não mostra situações de especial relevância, com exceção para as zonas de várzea localizadas nas linhas de água das ribeiras da Junqueira e dos Moinhos. A ribeira dos Moinhos divide a ZILS em duas partes. O regime hídrico é predominantemente intermitente e com orientação dominante este-oeste a partir das cabeceiras na escarpa oriental, desembocando no oceano Atlântico. O perfil é suave e as linhas de cumeada são pouco relevantes. As cotas, na ordem dos 80 m, diminuem de este para oeste, com exceção para a região próxima de Sines, no afloramento do maciço eruptivo que se sobreleva na paisagem.

### 3.1.2 – Clima

O clima da região é influenciado pelo regime de circulação atmosférica que afeta a globalidade da faixa costeira do sul de Portugal, ao qual se associam fatores regionais e locais como a proximidade ao Atlântico e a topografia. Este é do tipo mediterrânico com forte influência atlântica, principalmente na zona litoral mais perto da costa, sendo pouco permeável às massas de ar fresco de NW. O clima é caracterizado por possuir verões relativamente frescos e invernos muito suaves. A temperatura média anual varia entre 10,2°C, em dezembro, e 22,5°C, em agosto, aumentando gradualmente para sul. Excecionalmente podem registar-se temperaturas superiores a 35°C nos meses mais quentes e inferiores a 5°C nos meses mais frios. Em Sines, entre 1941 e 1991, foi registada a temperatura máxima de 37,1°C em julho e mínima de 0,5°C em dezembro e janeiro (Bastos *et al.*, 2012). Assim, o clima de Sines pode ser considerado temperado com amplitudes térmicas moderadas e temperatura média a rondar os 15°C (ARH Alentejo, 2012).

A precipitação média anual varia entre 600 e 700 mm e está concentrada nos meses de outubro a fevereiro (Lobo, 2008). Segundo o PGRH6, a precipitação do semestre húmido, de outubro a março, representa 86% da precipitação média anual total. Esporadicamente, em anos muito secos, a precipitação média anual pode oscilar entre 0 e 400 mm. Já em anos de muita pluviosidade estes valores podem subir até aos 1400 mm (SNIRH, 2015). A evapotranspiração real é de 500 a 250 mm e o escoamento global de 300 a 100 mm (Costa in Inverno *et al.*, 1993).

### 3.2 – Caracterização Geológica

A área da ZILS, incluindo a sua envolvente, enquadra-se na Carta Militar de Portugal, escala 1: 25 000, dos Serviços Cartográficos do Exército, folhas 515 A – Sines, 516 – Santiago do Cacém e 526 – Provença, e na Carta Geológica de Portugal, escala 1: 50 000, folha 42-C, Santiago do Cacém.

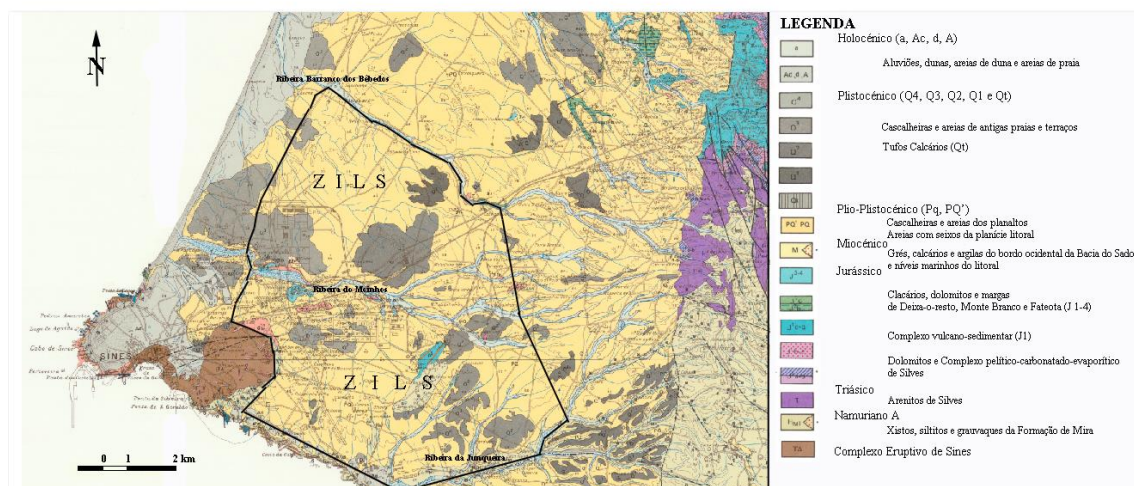


Figura 3.2 – Localização da ZILS (Zona Industrial e Logística de Sines) na Carta Geológica de Portugal, escala 1: 50 000, folha 42-C, Santiago do Cacém (IGM, 1993).

Instalada numa fossa tectónica (Manuppella, 1983; Manuppella & Moreira, 1989), a bacia meso-cenozóica, onde se localiza a ZILS, é constituída por depósitos do Triásico Superior (Arenitos de Silves) até ao Quaternário. Estes últimos encontram-se assentes em formações paleozóicas do Carbonífero. A cobertura cenozóica fossiliza o profundo *carst*, contudo, e embora sondagens para pesquisa de petróleo tivessem atravessado depósitos desta idade, no *offshore*, não são conhecidos sedimentos do Cretácico (Inverno *et al.*, 1993). Esta bacia encontra-se ladeada pelo maciço antigo e intercetada por rochas cristalinas formadas na dependência do Maciço Eruptivo de Sines (Figura 3.2).

Os trabalhos mais antigos de que há referência sobre as formações terciárias e secundárias devem-se a C. Ribeiro (1866; 1872), Choffat (1885-1887) Andrade (1937), Zbyszewski (1941), Zbyszewski & Berthois (1950), Mendes (1968); Manuppella (1970; 1983; 1984); Manuppella & Moreira, 1989). O Gabinete da Área de Sines, nos anos 70, cartografou, à escala 1:25 000, as formações terciárias e secundárias e o maciço de Sines. Em 1993, o IGM, através dos trabalhos desenvolvidos por Inverno, Manuppella, Zbyszewski, Pais e Ribeiro, procedeu à revisão da cartografia da região, na escala 1: 50 000.

### 3.2.1 – Litoestratigrafia

#### Cenozóico

As formações do Cenozóico correspondem aos depósitos de cobertura da Bacia de Sines. Estes são constituídos essencialmente por calcários, grés e arenitos de idade miocénica, seguidos de areias e argilas plio-plistocénicas, terminando com terraços fluviais e depósitos de praias antigas do Plistocénico, aluviões do Holocénico e areias de praia e duna.

Esta cobertura assenta em discordância angular sobre o Jurássico, fossilizando um paleorelevo que atinge uma espessura máxima de 100 m (Manuppella & Moreira, 1989).

### **Holocénico**

Ad – Areias de duna, d – dunas, a – aluviões e A – areias de praia

Dunas, aluviões e areias de duna e praia formam alinhamentos de pequenas dimensões dispersos ao longo do litoral e no vale das ribeiras. Estas unidades, nas linhas de água, aparecem associadas a seixos e lodos (Inverno *et al.*, 1993).

### **Plistocénico**

Qt – Tufos calcários, Q<sup>1</sup>, Q<sup>2</sup>, Q<sup>3</sup> e Q<sup>4</sup> – Níveis de praias situadas entre os 15 m e os 100 m

São visíveis ao longo da planície litoral e bem expostos nas arribas da praia. Compreendem tufos calcários, dunas consolidadas e cascalheiras de antigas praias e de terraços que se sobrepõem ao Plio-Plistocénico. Encontram-se cobertos por areias dunares. As cascalheiras são constituídas por seixos bem e mal rolados, às vezes associadas a pisólitos ferro-manganesíferos. As areias são branco-acinzentadas e amarelo-alaranjadas. Nas dunas consolidadas foi reconhecido um nível de turfa negra do Würm médio a superior (Inverno *et al.*, 1993).

### **Plio-Plistocénico**

PQ – Areias com seixos da planície litoral e PQ' – Cascalheiras e areias de planaltos

Na planície litoral estas camadas são constituídas por areias com seixos e, no sentido oriental, dão passagem a cascalheiras e areias de planalto. As primeiras compreendem depósitos marinhos e continentais alaranjados e avermelhados com seixos de quartzo, xisto e arenitos do Triásico. Por vezes também são encontrados argilitos, concreções carbonatadas e pisólitos intercalados. As segundas são formadas por areias e arenitos mais ou menos argilosos e cascalheiras com calhaus de quartzo angulosos (Inverno *et al.*, 1993). Estes depósitos assentam em discordância sobre o Jurássico e o Miocénico e encontram-se cobertos por depósitos de antigas praias do Quaternário. O contato com o Paleozóico é geralmente feito por falha.

### **Miocénico**

M – Níveis marinhos do litoral

Afloram a NE de Sines na margem norte da ribeira de Moinhos e são constituídos por biocalcarenitos, argilas e arenitos finos esbranquiçados (Inverno *et al.*, 1993).

**Mesozóico**

O Mesozóico está representado essencialmente por formações do Jurássico. Estas contactam a S e a E com as formações do Paleozóico e a SW com o Maciço Eruptivo de Sines. Na ZILS são raros os afloramentos, mas podem ser encontrados sob a espessa cobertura cenozóica. Compreende as unidades de dolomitos, margas, calcários da Fateota ( $J^1$ ) que afloram entre Melides e Santiago do Cacém, calcários do Rodeado ( $J^2b$ ), calcários do Monte Branco ( $J^2c$ ) e calcários, margas e conglomerados de Deixa-o-Resto ( $J^{3-4}$ ) (Inverno *et al.*, 1993).

**Paleozóico**

H<sub>Mi</sub> – Formação de Mira

Na região o Paleozóico está representado pela Formação de Mira. É uma formação turbidítica do tipo *flysch*, constituída predominantemente por grauvaques finos e siltitos, cinzento-esverdeados, e xistos carbonosos (Inverno *et al.* 1993).

**Maciço Eruptivo de Sines**

Esta unidade compreende gabros, dioritos, sienitos, basaltos, brechas vulcânicas e cerca de 390 filões ácidos e básicos relacionados com o maciço. Intrui nas rochas carbonatadas jurássicas e na Formação de Mira provocando o aparecimento de corneanas cálcicas e pelíticas. A parte emersa tem cerca de 5 km x 2,3 km, mas geralmente encontra-se coberta por dunas do Holocénico, para além dos prolongamentos reconhecidos na plataforma continental (Monteiro, 1984; Inverno *et al.*, 1993). Resultou da instalação numa fratura profunda do soco (ERHSA, 2001), pós-Jurássico, no Cretácico Superior (70 Ma).

**3.2.2 – Tectónica e Neotectónica**

A região, onde está implantada a ZILS, foi afetada por tectónica varisca, no decurso do Vestefaliano ao Pérmico, e por tectónica meso-cenozóica (Inverno *et al.*, 1993).

A tectónica varisca ou hercínica resultou de quatro fases de deformação, de  $F_1$  a  $F_4$ . Esta possui uma ação compressiva que originou a formação de dobras cilíndricas com eixos sub-horizontais (Formação de Mira), dobras *kink* com eixos subverticais, sub-horizontais e conjugados, e cavalgamentos, com clivagem xistenta e formação de minerais típicos de metamorfismo como clorite e sericite. Nestas fases desenvolveram-se falhas, algumas com desligamento esquerdo, predominantemente de direção N-S, subverticais, e falhas com rejogo durante o Meso-Cenozóico.

Durante o Mesozóico assiste-se à fase distensiva e rejogo de falhas hercínicas originando basculamento de blocos do soco e a abertura de uma bacia intra-cratónica (Inverno op. cit.).

Estruturas como as falhas de Santo André, Santa Cruz, Grândola e o alinhamento que se estende de Portimão, Monchique, Sines, Sesimbra e Sintra, controlam a movimentação dos blocos, a subsidência e a sedimentação, permitindo em algumas situações acumulação de mais de mil metros de sedimentos. A intrusão do maciço subvulcânico gabroico de Sines ocorre durante a fase distensiva no Cretácico Terminal prolongando-se até ao Miocénico.

O levantamento da bacia meso-cenozóica ocorre durante diversas fases da orogenia alpina. A cobertura pós-mesozóica é afetada por movimentos tardios, pós-Pliocénico, principalmente ao longo da falha de Santo André. O contínuo abatimento do bordo oeste do bloco, controlado pela falha de Santo André, permitiu a acumulação de sedimentos na ordem dos 920 m. É através dos terraços fluviais e da rede hidrográfica, profundamente encaixada, que se testemunha o levantamento neotectónico que o bloco continental terá sofrido desde finais do Pliocénico (Cabral, 2012).

A ocorrência de falhas ativas, a natureza do substrato geológico e a localização de zonas urbanizadas levou o Instituto de Meteorologia a classificar a região de Sines como uma zona sísmica de intensidade IX (escala de Mercalli). Esta resulta de elevada perigosidade e vulnerabilidade.

### **3.3 – Caracterização Hidrológica e Hidrogeológica**

A ZILS está implantada no território de abrangência da Administração de Região Hidrográfica do Alentejo, sobre a parte sul do Sistema Aquífero de Sines (Figuras 3.2 e 3.3). Este é designado no âmbito da implementação da Lei da Água (Lei N.º 58/2005) por Massa de Água 032 – Sines. A ZILS está limitada, a norte e a sul por troços das linhas de água da ribeira da Sancha e da ribeira da Junqueira e na parte central é atravessada pela ribeira dos Moinhos. A norte da ribeira o escoamento processa-se de nordeste para sudoeste e a sul no sentido contrário, de sudeste para noroeste. Trata-se de bacias hidrográficas de pequenas dimensões (5,3 km<sup>2</sup> a 21 km<sup>2</sup>) com redes de drenagem de tipo dendrítico de carácter temporário e dependentes de descargas de água subterrânea do Sistema Aquífero de Sines. Recebem também águas de drenagem pluvial de espaços industriais impermeabilizados da ZILS.





Figura 3.3 – Localização da ZILS no Sistema Aquífero de Sines (Adaptado de Almeida *et al.*, 2000).

A ZILS situa-se na bacia de Santiago do Cacém constituída por sistemas aquíferos do Plio-Quaternário, Mio-Pliocénico e Jurássico. Estes surgem a ocidente do soco Paleozóico e a norte do Complexo Eruptivo de Sines desenvolvendo-se até ao limite com a Bacia sedimentar do Sado. O Plio-Quaternário, devido à sua extensão e espessura permeável, torna-o interessante na recarga difusa de aquíferos subjacentes e na formação de aquíferos livres às vezes conectados hidraulicamente com as linhas de água. Consoante a época do ano, estes podem ser de forma efluente ou influente. As captações não excedem os 50 m e fornecem caudais na ordem de 5 L/s. Nos depósitos carbonatados do Jurássico, subjacentes à cobertura detrítica cenozoica, encontram-se os aquíferos mais importantes e produtivos.

### 3.3.1 – Sistema Aquífero de Sines / Massa de Água 032 - Sines

O Sistema Aquífero de Sines situa-se na unidade hidrogeológica da Orla Ocidental. Abarca os concelhos de Grândola, Santiago do Cacém e Sines, do distrito de Setúbal. Embora associado à bacia hidrográfica de Melides, na realidade compreende uma área constituída por pequenas bacias litorais, sendo as mais importantes a lagoa de Santo André, lagoa da Sancha e a ribeira dos Moinhos.

Este sistema é composto por um aquífero superficial multicamada do Mio-Pliocénico e outro profundo nos depósitos carbonatados do Jurássico separados por camadas argilosas e margosas, em grande parte da sua extensão.

O aquífero superior é de tipo poroso com comportamento livre a confinado, consoante a existência e extensão de níveis argilosos, pouco produtivo, com caudal de exploração variável

entre 5 a 10 L/s, e alimentado por infiltração direta (Lobo, 2008). Possui permeabilidade horizontal elevada, mas variável, dependendo da percentagem de argila e das interligações entre as camadas mais permeáveis (Chambel & Monteiro, 2007). Em certos locais, este aquífero, comporta-se como um aquífero multicamada heterogéneo e anisótropo (Inverno *et al.*, 1993), podendo ser considerado com comportamento tendencialmente livre.

O aquífero profundo, confinado, é mais produtivo, permitindo caudais de exploração de 125 L/s. No entanto, devido à litologia carbonatada e ao modelo de escoamento, a probabilidade de ocorrência de insucessos na realização dos furos é grande (Chambel *et al.*, 2010). Neste aquífero ocorre artesianismo repuxante e a recarga processa-se onde afloram as camadas do Jurássico e através de drenância vertical dos níveis sobrejacentes. A direção e sentido do escoamento ocorrem na perpendicular à linha de costa e com destino ao oceano, seguindo a orientação e inclinação das camadas. Segundo o PBHS, a taxa de recarga média é de 29 %, o que corresponde a 44 hm<sup>3</sup>/ano (177 mm/ano). Este valor foi assumido como a disponibilidade média do Sistema Aquífero de Sines.

A água destes aquíferos é, do ponto de vista químico, diferente. No aquífero inferior carbonatado (Jurássico) a fácies hidroquímica é bicarbonatada cálcica e a do aquífero superior detrítico (Miocénico e Plio-Plistocénico) é cloretada a mista (Almeida *et al.*, 2000).

A zona da ribeira dos Moinhos encontra-se intensamente fraturada devido à intrusão do Maciço Eruptivo de Sines. Por isso e pela existência de gradientes hidráulicos favoráveis deve corresponder a uma zona de descarga do aquífero de Sines comprovando, no local, a existência de produtividades elevadas (ERHSA, 2001).

O modelo de fluxo conceptual e numérico de Monteiro *et al.*, (2008) considera a existência de uma fronteira a dividir o aquífero em duas áreas: uma com conexão hidráulica entre o aquífero inferior e superior, situada a sul e a este (95 km<sup>2</sup>), e outra com conexão limitada, situada a norte e oeste (155 km<sup>2</sup>).

### 3.3.2 – Vulnerabilidade da Massa de Água 032 – Sines na região da ZILS

O Sistema Aquífero de Sines detém características hidrogeológicas que lhe conferem uma grande suscetibilidade à contaminação. O aquífero superior, sendo livre e constituído por formações porosas, pode receber águas pluviais contaminadas. A conexão hidráulica com o aquífero profundo facilita a progressão da contaminação em profundidade.

O sistema está assim sujeito a pressões que se podem classificar em 4 grupos de acordo com a Agência Portuguesa do Ambiente – APA (2014): 1) pressões quantitativas pontuais ou



difusas; 2) pressões quantitativas referentes às atividades de catação de água para fins diversos; 3) pressões hidromorfológicas; e 4) pressões biológicas.

As pressões pontuais resultam geralmente da lixiviação de contaminantes minerais e orgânicos de atividades industriais, de reparação naval e derivados de hidrocarbonetos. A poluição difusa relaciona-se com a atividade agrícola e pecuária. As pressões hidromorfológicas de origem antropogénica correspondem a alterações físicas nas áreas de drenagem, leitos e margens das massas de água, e modificações no regime hidrológico. As pressões biológicas relacionam-se com a pesca e a introdução de espécies exóticas.

A vulnerabilidade reflete-se no aparecimento de plumas de contaminação cuja caracterização é difícil, devido ao complexo padrão de escoamento e à existência de depósitos argilosos no seio das camadas detríticas do aquífero superior. A pluma varia ao longo da sua extensão e a sua composição depende dos fatores que condicionam a dispersão e as alterações químicas. O escoamento superficial é localizado, pouco profundo, e controlado pela ribeira dos Moinhos, que funciona como ponto de descarga, enquanto o aquífero profundo drena para oeste em direção à plataforma continental. As captações existentes no perímetro ou no exterior da ZILS podem estimular localmente a entrada de contaminantes no aquífero profundo, aumentando assim, os riscos de propagação de poluentes a maiores profundidades e distâncias. Por outro lado, estas captações podem contribuir para a retenção de hidrocarbonetos conduzindo-os para a zona saturada. A contaminação presente caracteriza-se por ter os valores mais elevados nos locais de derrames (*hot-spots*) e pela sobreposição das várias plumas que ocorreram nos últimos anos. A empresa Águas de Santo André deparou-se com valores residuais de hidrocarbonetos não processados que poderão ter origem natural (Chambel *et al.*, 2010). A vulnerabilidade do sistema é variável consoante a região, podendo ser elevada, intermédia ou baixa. A zona do aquífero na ZILS é considerada de vulnerabilidade elevada.

Análises realizadas à água de furos e poços da responsabilidade da aicep Global Parques, S.A., e sob administração da APA, ARH Alentejo, de agosto de 2008 a novembro de 2009, a norte e a sul da ribeira dos Moinhos, mostram contaminação generalizada no aquífero superior por hidrocarbonetos derivados de petróleo, destacando-se a presença de concentrações muito elevadas de naftaleno, fenantreno, benzeno, benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno, antraceno, e benzo(a)pireno. O naftaleno apresenta toxicidade suave e está presente em concentrações quase 5 ordens de grandeza superiores aos indicados pela Norma NP 1796 (2007), enquanto os restantes possuem concentrações superiores a 4 ordens de grandeza. De todas as substâncias encontradas, 6 são cancerígenas, sendo que 2 delas possuem efeitos desconhecidos. Os compostos BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos) quando ingeridos, dependendo da concentração e do tempo de exposição, podem afetar o sistema nervoso central (AgSolve, 2014). No aquífero inferior encontraram-se concentrações baixas de MtBE, fluoreno, etilbenzeno e acenaftaleno e concentrações elevadas de fluoranteno, pireno, fenantreno, naftaleno, TPH, benzo(b)fluoranteno e xilenos. Através destes resultados é possível

afirmar que a migração, dos contaminantes, do aquífero superior para o inferior, dá-se muito rapidamente, entre uma a duas semanas, no máximo (Chambel *et al.*, 2010).

Ambos os aquíferos encontram-se contaminados por hidrocarbonetos, causando impactos significativos nos recetores, como por exemplo, nos trabalhadores das indústrias localizadas no perímetro da ZILS e na população que utiliza a água para produção agrícola, banhos e dessedentação de animais. (Chambel *et al.*, 2010). No entanto, sabe-se que o risco para a saúde depende também da entrada destes contaminantes no organismo, podendo ser através de ingestão da água, alimentos, solo contaminado, contato dérmico e inalação.

### **3.3.2.1 – Focos de Contaminação**

A origem da contaminação de águas subterrâneas pode ocorrer dentro ou fora da área de implantação da ZILS. Muitas vezes, em erro, é responsabilizada a entidade industrial mais próxima da pluma. Porém, como é sabido, as águas subterrâneas deslocam-se, podendo transportar a contaminação a longas distâncias.

Na ZILS encontram-se instaladas diversas indústrias (Figura 3.4) capazes de contaminar o solo e a água superficial e subterrânea. Todas elas detêm redes próprias para monitorização de quantidade e de qualidade da água superficial e subterrânea. Entre estas destaca-se a Refinaria da Galp Energia (petróleo bruto, gás, gasóleo, gasolina, fuelóleo, jet fuel, nafta, betume e enxofre), a Repsol (polímeros PEBD e PEAD e Unidade de Polipropileno, Polietileno Linear e Cogeração), Central Termelétrica – EDP, Artlant e Artelia Ambiente (Ácido Tereftálico – PTA), Enerfuel (biodiesel), Euroresinas (resinas, formaldeído e impregnação), Ibera (betão pronto), Metalsines (metalomecânica), Mossines e Kimaxtra (cimento a partir de clínquer), Recipneu (polímeros reciclados e granulados de borracha), Air Liquide (oxigénio e outros gases industriais) e empresas de telecomunicações.

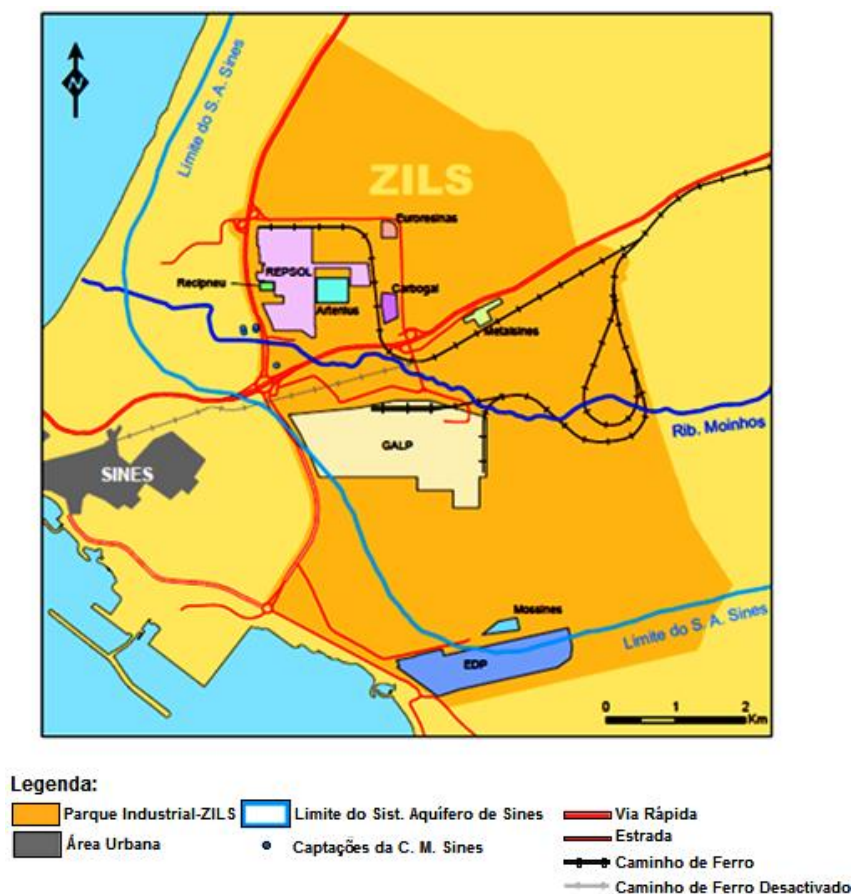


Figura 3.4 – Áreas Industriais na Zona Industrial e Logística de Sines (Chambel *et al.*, 2010).

No exterior da ZILS foram também identificados alguns focos de contaminação, nomeadamente ETARs, oficinas de automóveis, possível suinicultura, reservatórios, acumulação de resíduos e transformação elétrica (Figura 3.5).



Figura 3.5 – Identificação das possíveis fontes de contaminação fora do perímetro da ZILS (Adaptado de Chambel *et al.*, 2010).



## **CAPÍTULO 4 – Análise dos Dados**

### **4.1 – Dados Inventariados**

O estudo baseou-se na inventariação e recolha de dados geológicos e hidrogeológicos do arquivo da aicep Global Parques, S.A., SNIRH e LNEG, num total de 33 pontos de água (Anexos 1, 2 e 3).

#### **4.1.1 – Dados da aicep Global Parques, S.A.**

Esta entidade forneceu dados de 16 sondagens, mais tarde transformadas em piezómetros, que constam da rede de monitorização destes organismos na área abrangida pela ZILS (Figura 4.1, Quadro 4.1 e Anexo 1). Foram alcançadas profundidades entre 6,64 m e os 120 m e intercetadas camadas do Meso-Cenozóico e dos aquíferos, superior e inferior (Massa de Água 032 – Sines). Foi excluída do estudo a sondagem JKP3 devido a dúvidas relacionadas com a sua localização. As coordenadas fornecidas não correspondiam à posição que esta ocupava no mapa.

Para a correlação entre sondagens e respetivos posicionamentos dos níveis hidrostáticos e hidrodinâmicos é imprescindível o conhecimento das cotas topográficas dos locais de implantação. Estas foram obtidas a partir do Modelo Digital do Terreno (MDT) realizado para o efeito em *ArcGIS* (ver capítulo 6) com exceção para a sondagem JKC6A, por esta se encontrar fora do alcance do modelo. A cota desta sondagem foi obtida na carta geológica 42-C Santiago do Cacém.

As sondagens mais antigas, realizadas antes de 2014, foram executadas pela empresa John Keller, S.A. (JKP3, JKC6A) para captação de água subterrânea. Em 2014, no âmbito de um estudo para implementação da rede de monitorização da ZILS, a empresa de sondagens de Carlos Alberto B. Rodrigues realizou os restantes 14 furos (N2, N3, N4, N5, N6, N7, N8, S1, S2, S3, S5, S6, P1 e P2) e reentubou os antigos, o JKP3 e JKC6A. Neste estudo, os níveis mais superficiais, nas camadas detríticas do Mio-Pliocénico e Quaternário do aquífero superior, foram perfurados com o método de circulação direta com lamas bentoníticas e os níveis inferiores do Jurássico carbonatado (aquífero inferior) pelo método de rotopercussão. As camadas produtivas do aquífero superior foram isoladas nos piezómetros P1 e P2 por uma coluna de aço devidamente cimentada, contendo no interior uma coluna definitiva em PVC com diâmetro de 140 mm.

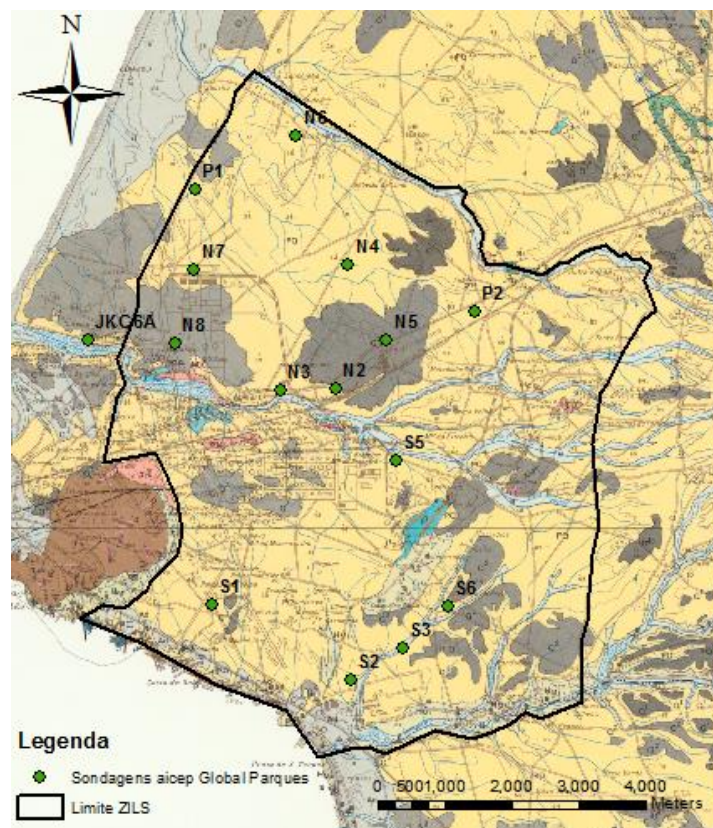


Figura 4.1 – Localização das sondagens hidrogeológicas recolhidas no arquivo da aicep Global Parques, S.A.

Quadro 4.1 – Dados das sondagens do arquivo da aicep Global Parques, S.A.

ID	Coordenadas*		Cota (m)	Profundidade (m)	Profundidade do Entubamento (m)	Diâmetro do Entubamento	Tipo de Entubamento	Aquífero Monitorizado	Nível Hidrostático (NHE) (m) (Data da Leitura)
	M (m)	P (m)							
N2	140 946	112 096	50	30,00	30,00	140 mm	PVC	Superior	18,85 (13-06-2014)
N3	140 123	112 056	31	12,70	12,70	140 mm	PVC	Superior	12,67 (20-06-2014)
N4	141 132	113 939	45	20,00	20,00	140 mm	PVC	Superior	17,25 (11-06-2014)
N5	141 709	112 821	50	22,00	22,00	140 mm	PVC	Superior	21,35 (20-06-2014)
N6	140 357	115 857	25	24,90	24,90	140 mm	PVC	Superior	14,84 (07-07-2014)
N7	138 831	113 866	30	20,00	20,00	140 mm	PVC	Superior	11,08 (11-06-2014)
N8	138 550	112 775	29	20,00	10,40	140 mm	PVC	Superior	9,90 (20-06-2014)
P1	138 859	115 076	25	105,00	105,00	140 mm	PVC	Inferior	23,40 (-)
P2	143 030	113 240	52	84,66	84,66	140 mm	PVC	Inferior	31,54 (-)
S1	139 110	108 868	36	11,80	11,80	140 mm	PVC	Superior	1,76 (01-07-2014)
S2	141 168	107 746	25	7,00	6,64	140 mm	PVC	Superior	1,96 (27-06-2014)
S3	141 947	108 202	35	6,64	6,64	140 mm	PVC	Superior	3,46 (27-06-2014)
S5	141 847	111 022	48	12,64	12,64	140 mm	PVC	Superior	5,78 (25-06-2014)
S6	142 624	108 830	50	8,90	8,90	140 mm	PVC	Superior	4,35 (27-06-2014)
JKC6A	137 241	112 807	22	120,00	120,00	3 “	Aço	Inferior	-
JKP3	-	-	50	120,00	120,00	3 “	Aço	Inferior	-

\*Coordenadas M (meridiano) e P (paralelo) na quadricula quilométrica Gauss



#### 4.1.2 – Dados do SNIRH

Na *web* fez-se uma pesquisa de dados disponíveis sobre a área da ZILS no Sistema Nacional de Informação dos Recursos Hídricos (SNIRH). No *site* consta a existência de 11 pontos de água (furos) com informação muito díspar (Figura 4.2, Quadro 4.2 e Anexo 1). Na sua maioria são referidas as coordenadas, ficando no desconhecimento as características geológicas e hidrogeológicas. Trata-se do aproveitamento, por parte da tutela, de furos situados na região para integrarem a rede de observação ou de vigilância da quantidade e qualidade da água subterrânea. A legislação portuguesa (Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de Agosto) estabelece critérios e normas de qualidade da água em função dos seus principais usos, nomeadamente através do VMA (Valor Máximo Admissível) e VMR (Valor Máximo Recomendado). O VMA não pode ser ultrapassado por provocar efeitos adversos e risco para a saúde e o VMR não deve ser ultrapassado por representar já algum risco para a saúde.

São adotadas cores para os intervalos de segurança em termos de concentrações dos elementos perigosos ou com algum risco para a saúde. A cor verde indica que os valores se situam abaixo do VMR; a cor amarela que se encontram acima do VMR e abaixo do VMA; e a cor vermelha indica que as concentrações se situam acima do VMA.

Tal como para os dados da aicep Global Parques, S.A. foram calculadas as cotas dos pontos a partir do MDT, excetuando o caso do 516/30 por não estar incluído na área do modelo. Este foi retirado da carta geológica 42-C Santiago do Cacém. Para os pontos 516/18 e 516/127 foram tomadas as cotas indicadas no *site*.

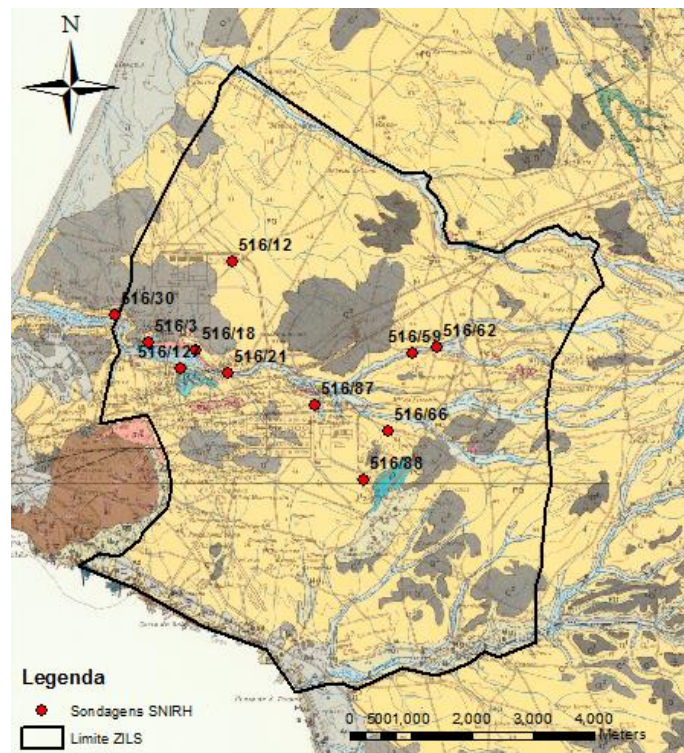


Figura 4.2 – Localização das sondagens hidrogeológicas recolhidas no arquivo do SNIRH.

**CAPÍTULO 4 – Análise dos Dados**

Quadro 4.2 – Dados do arquivo do SNIRH (<http://snirh.apambiente.pt/>).

ID	Coordenadas*		Cota (m)	Profundidade (m)	Ano de Construção	Objetivo	Acabamento	Diâmetro Nominal (mm)	Profundidade de Perfuração (m)	Profundidade de Entubamento (m)	Profundidade média do nível de água no ano hidrológico 2014/15 (m)	Superfície Piezométrica média no ano hidrológico 2014/15 (m)
	M (m)	P (m)										
516/30	137 730	112 760	23	178	1978	Observação	Ralo com Maciço Filtrante	800	178	167	-	-
516/3	138 280	112 320	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
516/12	139 650	113 650	36	-	-	-	-	-	-	-	-	-
516/21	139 570	111 816	25	122,6	1986	Observação	Open Hole (Paredes Nuas)	470	122,6	13,15	-	-
516/87	141 000	111 300	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
516/59	142 600	112 130	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
516/62	143 000	112 250	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
516/66	142 200	110 850	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
516/88	141 800	110 050	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
516/18	139 050	112 180	19	120,3	1982	Observação	Open Hole (Paredes Nuas)	470	120,3	13	4.52	14,48
516/127	138 790	111 890	24	-	-	Abastecimento Público	-	-	120	-	-	-

\*Coordenadas M (meridiano) e P (paralelo) na quadrícula quilométrica Gauss

O ponto 516/18 pertence, desde 2007, à rede de monitorização nacional ou de vigilância de quantidade. É um ponto ativo e regista a evolução temporal do nível piezométrico. Os valores observados, entre outubro de 2007 e 2014, são descontínuos no tempo, mostram tendência decrescente e situam-se entre os 14 e os 15 m de profundidade. (Figura 4.3, Anexo 2).

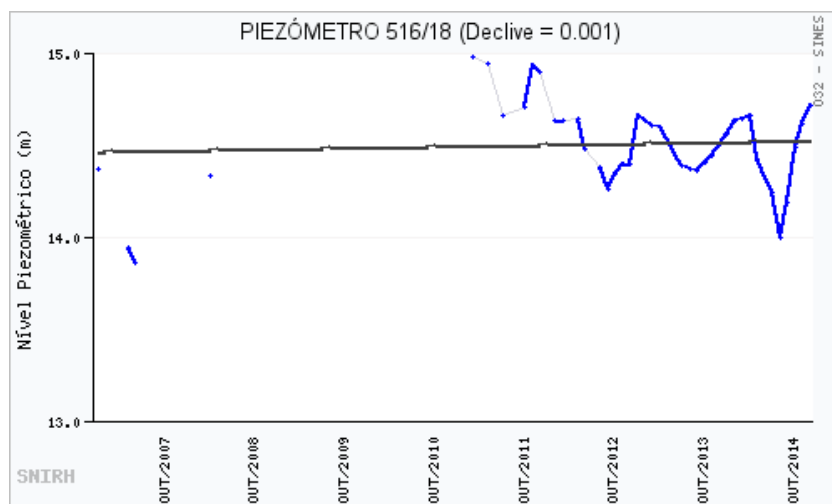


Figura 4.3 – Representação gráfica da evolução do nível piezométrico no ponto 516/18 da rede de monitorização nacional (SNIRH, março 2015).

O ponto 516/127 pertence à rede de monitorização nacional da qualidade da água subterrânea. É um ponto ativo e de vigilância operacional. Reúne dados observados, entre 2006 e 2010, dos parâmetros representados no Quadro 4.3 (Anexo 3):

Quadro 4.3 – Parâmetros de qualidade analisados nas águas subterrâneas.

Arsénio	Condutividade	Níquel
Azoto Amoniacal	Crómio	Oxigénio Dissolvido (Sat)
Boro	Ferro	Pesticidas Totais
Cádmio	Fluoretos	pH
Chumbo	Fosfatos $P_2O_5$	Selénio
Cianetos	Hidrocarbonetos Aromáticos Polinucleares	Sulfatos
Cloretos	Manganês	Temperatura
Cobre	Mercúrio	Vanádio
Coliformes Fecais	Nitratos	Zinco
Coliformes Totais	Nitritos	

#### 4.1.3 – Dados do LNEG

No arquivo do LNEG (geoportal) estão descritos 6 furos de captação de água subterrânea na área envolvente da ZILS com profundidades entre 95,20 e 222,50 m (Figura 4.4). Esta informação foi extraída de relatórios de sondagens hidrogeológicas executadas por empresas da especialidade para pesquisa e eventual exploração de água. Nos relatórios conta informação relativa à localização, litologia, entubamento, parâmetros hidrogeológicos obtidos através da realização de ensaio de bombeamento e aspetos técnico-construtivos (Quadro 4.4 e Anexo 1).

Tal como se procedeu para os dados inventariados na aicep Global Parques, S.A. e SNIRH, as cotas dos furos foram obtidas do MDT, com exceção do furo 516F0013 por esta constar no relatório.



Figura 4.4 – Localização das sondagens hidrogeológicas recolhidas no arquivo do LNEG

**CAPÍTULO 4 – Análise dos Dados**

Quadro 4.4 – Dados do arquivo do LNEG (GEOPORTAL: <http://geoportal.lneg.pt/>).

ID	Coordenadas*		Cota (m)	Profundidade (m)	Entidade que efetuou o furo (Data da Realização do Relatório)	Método de Perfuração	Diâmetros de Perfuração	Diâmetros de Entubamento	Tubagem	Caudal Extraído Recomendado (l/seg/m)	Observações
	M (m)	P (m)									
516F0013	140 650	112 430	54	98,65	Sondagens e Fundações A. Cavaco, Lda. (16-10-1981)	Percussão e Percussão Pneumática	368mm	7"	Aço	0,41	Ensaio realizado com grupo eletrobomba submersível
516F0015	141 700	111 580	41	220,00	Keller Grundbau GmbH (4-02-1993)	<i>Rotary</i> por Circulação Inversa	800mm até -3,00m 600mm até -15,50m 521mm até -18,00m 470mm até -22,00m 445mm até -110,00m 381mm até -175,00m 311mm até -220,00m	12" até -72,00m 8" até -138,00m 6" até -216,00m	Aço	(Abaixo do -87,00 m) 0,91	Ensaio de caudal final com grupo submersível
516F0009	141 000	111 300	40	222,50	John Keller, S.R.L. (31-03-1978)	<i>Rotary</i> por Circulação Inversa	800mm até 11,00m 700mm até 19,50m 445mm até 85,00m 375mm até 222,00m	12" até 72,00m 8" até 127,00m 6" até 190,00m	-	0,37	Ensaio de caudal final com grupo submersível
516F0010	141 800	111 050	47	150,00	John Keller, S.R.L. (31-03-1978)	<i>Rotary</i> por Circulação Inversa	800mm até 11,00m 700mm até 23,70m 445mm até 66,00m 375mm até 150,00m	12" até 66,00m 8" até 121,00m	-	25,32	Ensaio de caudal final com grupo submersível
516F0006	145 090	115 130	75	95,20	TEIXEIRA DUARTE, Lda. (14-09-1971)	Sonda Mecânica de <i>Rotary</i>	-	8"	-	0,82	Ensaio de caudal com bomba elétrica
516F0016	141 600	111 000	45	154,00	Keller Grundbau GmbH (5-02-1997)	<i>Rotary</i> por Circulação Inversa	800mm até -4,00m 600mm até -27,00m 521mm até -35,00m 445mm até -92,00m 407mm até -154,00m	12" até -78,00m 8" até -150,00m	Aço	(Abaixo dos -81,00 m) 0,27	Ensaio de caudal final com grupo submersível

\*Coordenadas M (meridiano) e P (paralelo) na quadrícula quilométrica Gauss



## 4.2 – Tratamento dos Dados

O tratamento dos dados foi feito com recurso ao programa *ArcGIS 10.1*. O *ArcGIS* caracteriza-se por ser um Sistema de Informação Geográfica (SIG) que abrange um conjunto de *softwares* da ESRI (*Environmental Systems Research Institute*). Este é utilizado para a criação de mapas, compilação de dados geográficos, análises de informações mapeadas e gestão de informações geográficas em bancos de dados. O *ArcMap*, *software* de interface gráfica do *ArcGIS*, permite ainda fazer a sobreposição de planos de informação vetorial e matricial de objetos gráficos, texto, figuras, análises espaciais, criação e edição de dados, padronização e impressão de mapas (Santos, 2009).

Com este programa foram implantados os pontos inventariados no mapa geológico da região (folha 42-C Santiago do Cacém). Na sua representação optou-se por manter a referência original, embora, com cor diferente, consoante o organismo, para facilitar a sua identificação (Figura 4.5). Este foi também utilizado para a conceção do modelo geológico, hidrológico e hidrogeológico da área de estudo. Foram assim identificadas as *shapefiles* importantes para este estudo, como o limite da ZILS, as linhas de água, os pontos e a linhas de cota e as ribeiras principais (Figura 6.1).

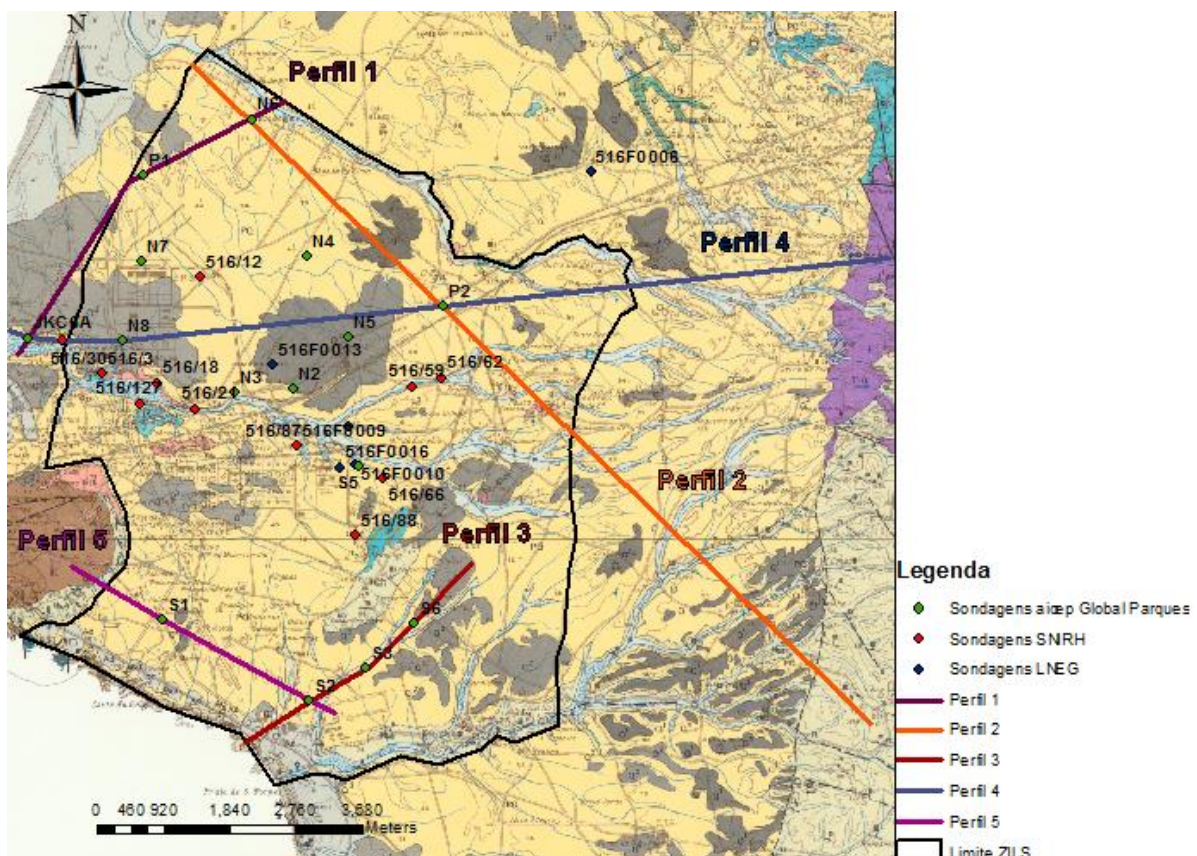


Figura 4.5 – Localização dos perfis e das sondagens hidrogeológicas recolhidas no arquivo da aicep Global Parques, S.A. (verde), SNRH (vermelho), LNEG (azul) na Carta Geológica, folha 42-C Santiago do Cacém (IGM. 1986).



## CAPÍTULO 5 – Modelo Geológico da Área de Estudo

O modelo geológico da região abrangida pela ZILS foi construído através do traçado de perfis geológicos (Figura 5.1 a 5.5, Perfil 1 a Perfil 5) interpretativos da litologia atravessada e descrita nos *logs* das sondagens hidrogeológicas. Os pontos escolhidos para o traçado e orientação dos perfis tiveram, sempre que possível, em preferência as sondagens mais profundas e representativas da litoestratigrafia intercetada no local, desde as camadas mais recentes, do Quaternário, às mais antigas, do Paleozóico, relacionando-as com o Maciço Eruptivo de Sines.

O Perfil 1 (Figura 5.1) foi traçado entre as ribeiras da Sancha e dos Moinhos. Intercetou unidades estratigráficas desde o Quaternário ao Jurássico. Terraços do Quaternário (Q3), pouco espessos, constituídos por areias grosseiras com pequenos seixos, surgem no vale da ribeira dos Moinhos. O Plio-Plistocénico, indiferenciado, com espessura máxima de 57,65 m, formado por areias de praia da planície litoral, de granulometria fina a grosseira e restos de conchas, foi observado nas sondagens N6, P1, JKC6A. O Miocénico marinho do litoral é representado nas sondagens pelas camadas de calcarenitos, siltitos e argilas que surgem na base das areias de praia, com espessura variável entre 8 m (P1) e 12,4 m (JKC6A). O calcário compacto do Jurássico foi intercetado nas sondagens P1 e JKC6A, na base do Miocénico. Este é intercalado por níveis margosos em profundidade.

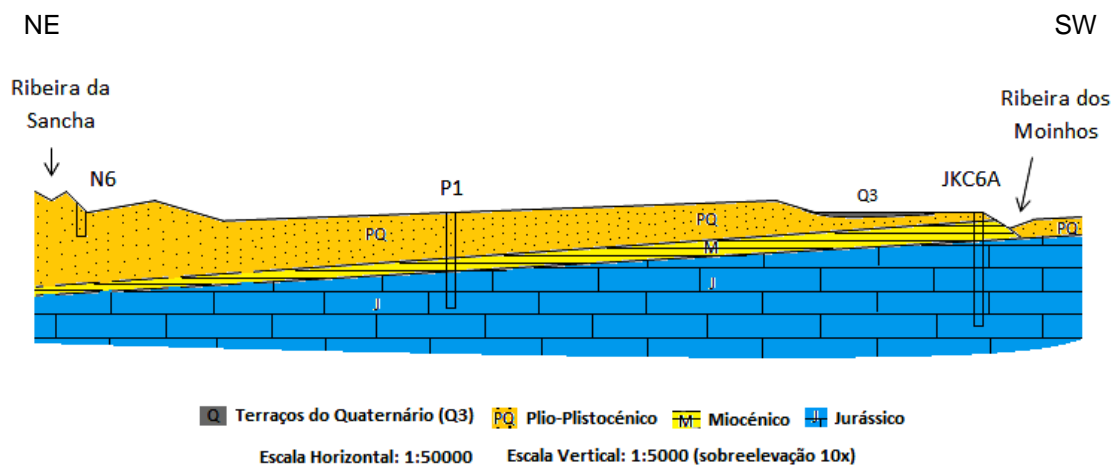


Figura 5.1 – Perfil 1: *Cross section* a unir as ribeiras da Sancha e dos Moinhos, com interceção das unidades geológicas do Jurássico, Miocénico, Plio-Plistocénico e Quaternário.

O Perfil 2 (Figura 5.2) une a ribeira da Sancha à serra de Grândola, passando pelas ribeiras dos Moinhos e da Junqueira. Atravessa uma zona de nascentes em Fontanal, Lagoa do Paço, Lagoa de Cima, Lagoa de Baixo e Fonte Branca. Estas devem resultar de descarga de água subterrânea que emerge no provável contato por falha entre as camadas do Maciço Antigo (HMi) e o Jurássico (J). A sua ocorrência fundamenta o modelo geológico conceptual para o local. É uma estrutura em *gabren*



controlada por falhas de orientação NNE-SSW, onde se encaixa um possível prolongamento da falha provável da Maria das Moitas, a do contato entre o Cenozóico e o Maciço Antigo (serra de Grândola) e uma falha associada a nascentes junto a Seiceiro e à ribeira da Junqueira. Na região persistem alguns retalhos de terraços quaternários, no cabeço dos montes, constituídos por areia e seixos bem rolados (Q2), embora sem expressão significativa. O Plio-Plistocénico composto por siltitos e areia com granulometria a variar entre fina e grosseira possui espessura máxima de 24,9 m. O calcário jurássico é apenas observado no P2. O Cenozóico sobrepõe-se em discordância ao Paleozóico da Formação de Mira que aflora na serra de Grândola. O Miocénico não foi intercetado pelas sondagens do perfil, no entanto, este surge sob o Plio-Quaternário a oeste da falha da Maria das Moitas.

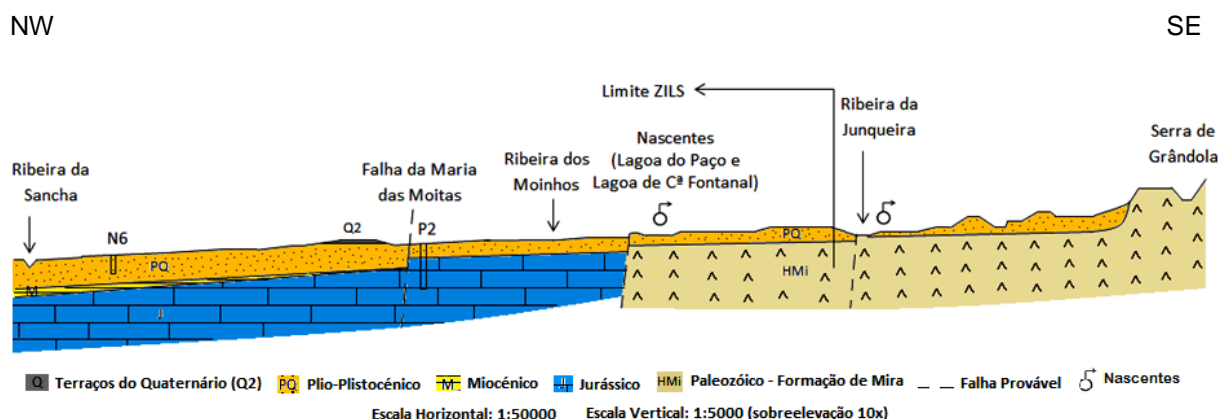


Figura 5.2 – Perfil 2: *Cross section* a unir a ribeira da Sancha à serra de Grândola, com interceção das unidades geológicas do Paleozóico, Jurássico, Plio-Plistocénico e Quaternário.

O Perfil 3 (Figura 5.3) desenvolve-se ao longo da ribeira da Junqueira e prolonga-se desde o litoral até Pinheiro. As sondagens (piezómetros) da aicep Global Parques, S.A. neste local atravessaram as camadas arenosas do Plio-Plistocénico e terminaram nos xistos do Paleozóico (Formação de Mira) às profundidades de 6,64 m (S3), 7 m (S2) e 8,9 m (S6). Retalhos de areias com seixos, bem rolados, de terraços do Quaternário afloram a NE do perfil nas cotas mais elevadas.

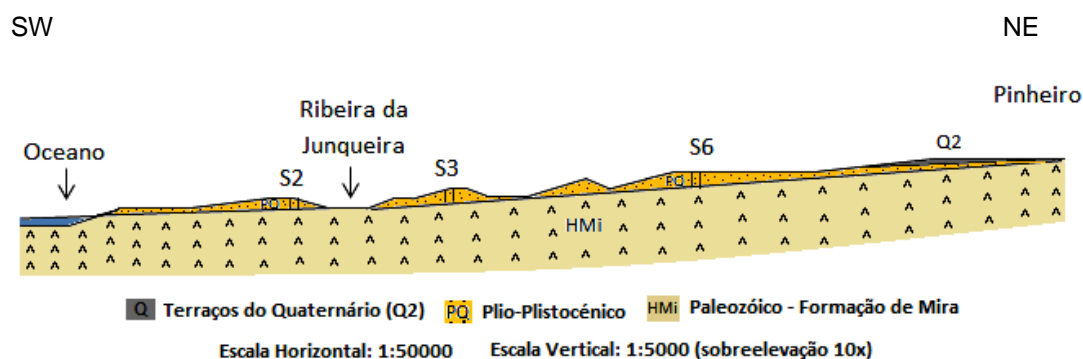


Figura 5.3 – Perfil 3: *Cross section* a unir o litoral e Pinheiro, com intercepção das unidades geológicas do Paleozóico, Plio-Plistocénico e Quaternário.

O Perfil 4 (Figura 5.4) inicia-se na ribeira dos Moinhos e termina nos arenitos de Silves do Triásico, no limite com a serra de Grândola, passando pela nascente da Fonte Branca. Atravessa as areias grosseiras com seixos, superficiais, do Quaternário (Q2 e Q3). O Plio-Plistocénico com espessura máxima de 13,25 m estende-se por todo o perfil e é constituído por areia de granulometria fina a grosseira. O Miocénico somente foi observado próximo do litoral, junto à foz da ribeira dos Moinhos (JKC6A, 516/30 e N8). Este é formado por uma camada pouco espessa, de argilas e calcarenitos (espessura máxima de 12,4 m). O Jurássico, constituído por calcários, calcários margosos e margas, foi intercetado até aos 178 m de profundidade na sondagem hidrogeológica 516/30. Este perfil corrobora o modelo geológico descrito no Perfil 2, nomeadamente na estrutura e na tectónica. É de reforçar a presença nesta região das falhas prováveis da Maria das Moita e na nascente da Fonte Branca, bem como no limite com a serra de Grândola.

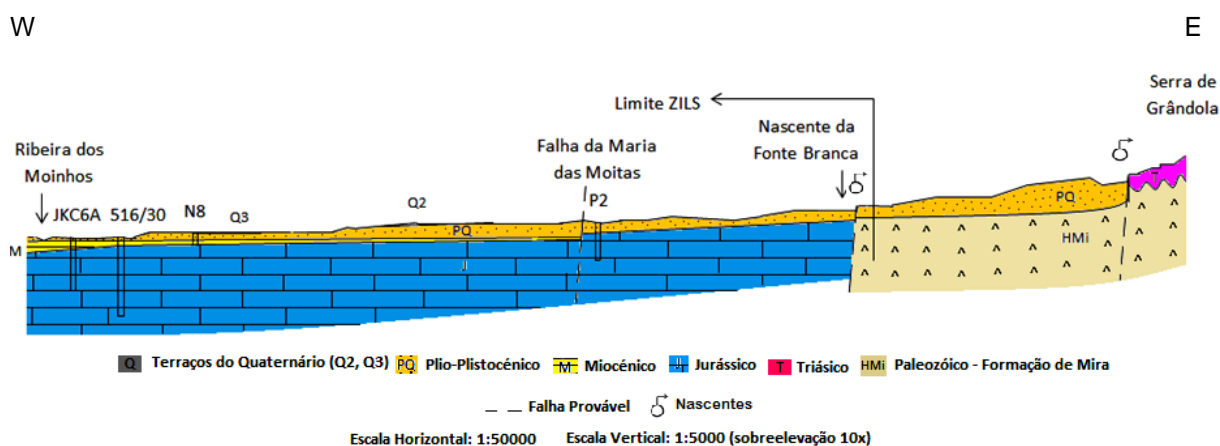


Figura 5.4 – Perfil 4: *Cross section* a unir a ribeira dos Moinhos à serra de Grândola, com intercepção das unidades geológicas do Paleozóico, Triásico, Jurássico, Miocénico, Plio-Plistocénico e Quaternário.

O Perfil 5 (Figura 5.5) mostra a intrusão ígnea do Maciço Eruptivo de Sines na Formação de Mira do Paleozóico, afetando igualmente as camadas do Miocénico e do Jurássico. Junto ao maciço, a sondagem S1 intercetou 10,8 m de areia fina com seixo, xisto e siltitos do Plio-Plistocénico. O terraço do Quaternário (Q2) constituído por areia com seixos geralmente bem rolados aflora junto a uma provável falha, no contato entre o Jurássico e o Paleozóico, cuja continuação para N, se relaciona com o prolongamento da falha da Maria das Moitas.

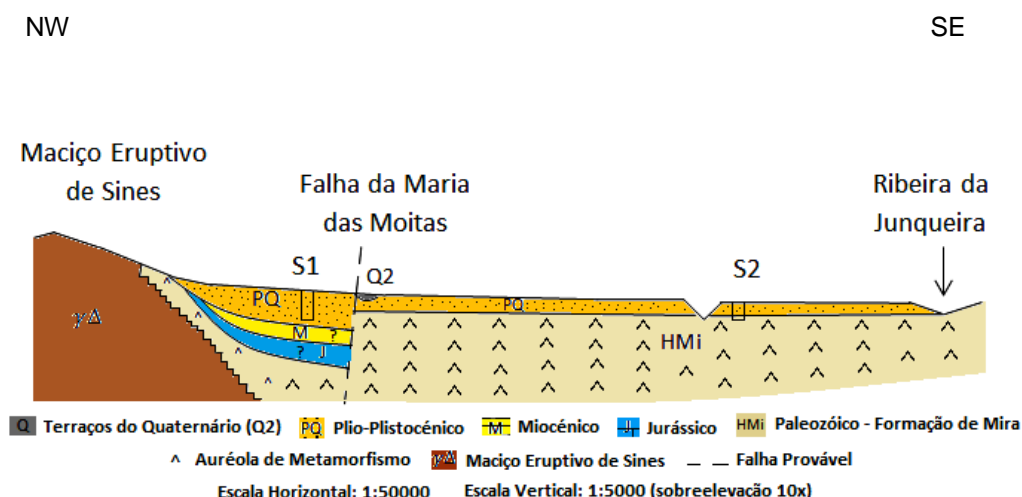


Figura 5.5 – Perfil 5: *Cross section* a unir o Maciço Eruptivo de Sines e a ribeira da Junqueira, com interceção das unidades geológicas do Paleozóico, Jurássico, Plio-Plistocénico e Quaternário e o Maciço Eruptivo de Sines.

## CAPÍTULO 6 – Modelo Hidrológico e Hidrogeológico da Área de Estudo

### 6.1 – Modelo Hidrológico

O modelo hidrológico consistiu na elaboração de mapas da rede de drenagem da área abrangida pela ZILS. A partir de pontos cotados e outros sobre as curvas de nível na base cartográfica 1:50 000 (Figura 6.1), gerou-se o Modelo Digital do Terreno (MDT) através das funções *Raster* (Figura 6.2) e *TIN* (Figura 6.3), criando uma rede triangular irregular, cuja superfície não deriva do *input raster* mais que uma medida específica de tolerância. Isto é, primeiro gera-se um *TIN* utilizando pontos de entrada do *raster* suficientes para abranger totalmente o perímetro da superfície do *raster*. De seguida, melhora-se a superfície *TIN* até encontrar a tolerância específica. Este processo é realizado através da adição de mais centros de células numa base necessária durante um processo iterativo (ArcGIS Resources, 2015).

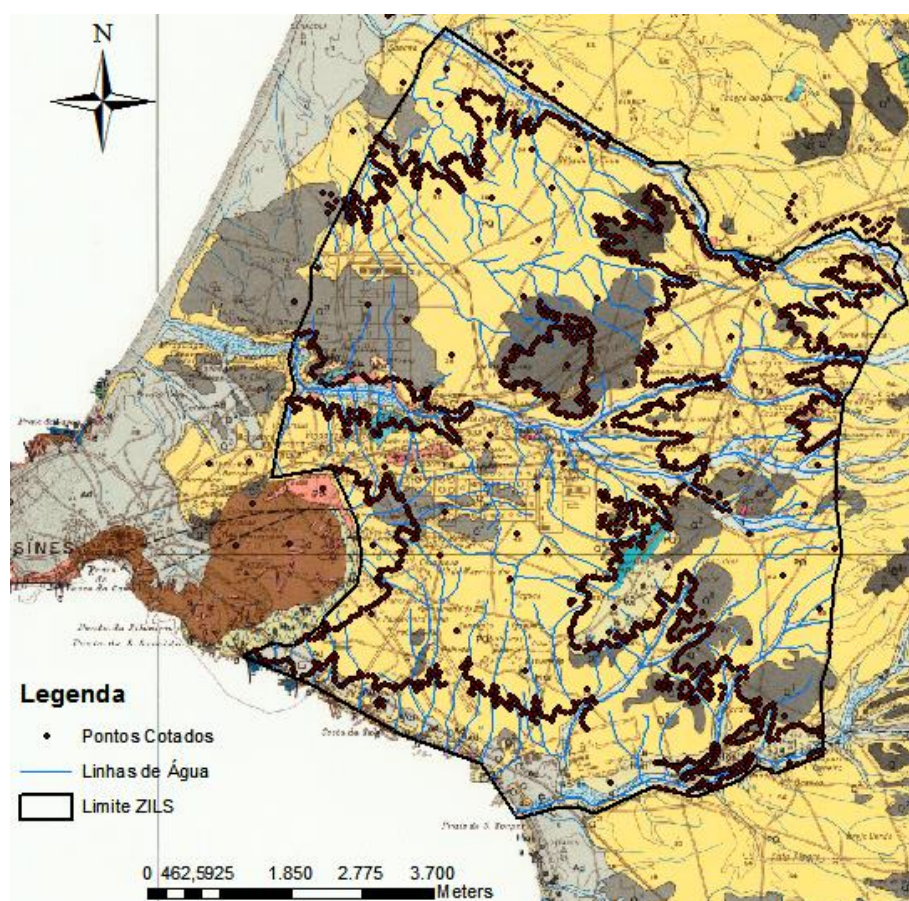


Figura 6.1 – Linhas de água, pontos cotados e limite da ZILS na base cartográfica, na escala 1:50 000, da carta geológica 42-C.

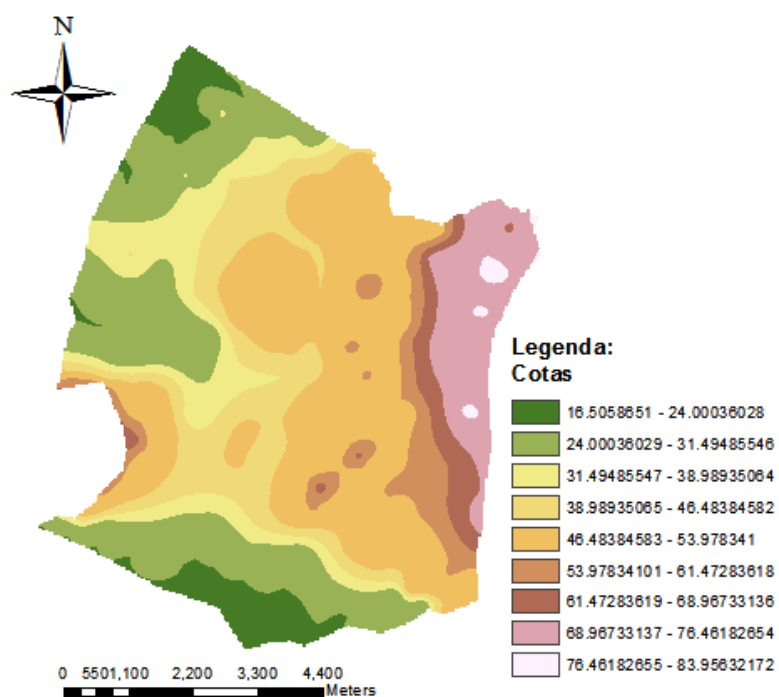


Figura 6.2 – Modelo digital do terreno: Imagem *Raster* dos pontos cotados.

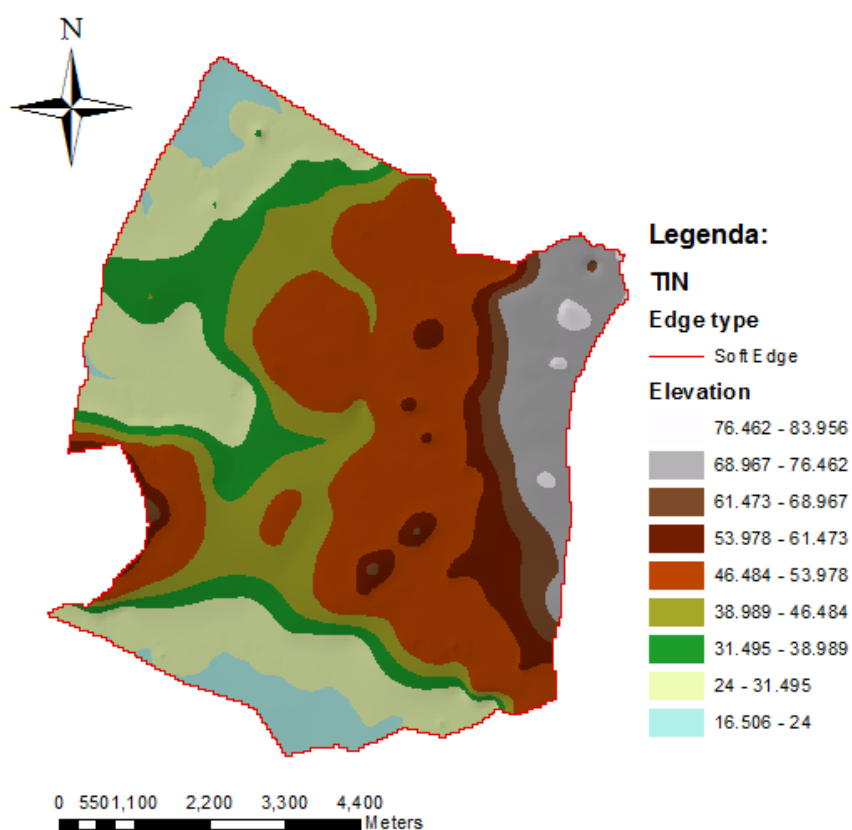


Figura 6.3 – Modelo digital do terreno: Imagem *TIN* obtida do *Raster* em *ArcGIS 10.1*.

Pelas imagens das figuras 6.2 e 6.3 observa-se que os valores das cotas não variam abruptamente e que oscilam entre os 16 m e os 84 m. É visível também que as cotas mais altas encontram-se maioritariamente a E da zona de estudo, no limite com os terrenos do Paleozóico, e a SW, onde ocorre a intrusão do Maciço Eruptivo de Sines.

Para o modelo hidrológico utilizaram-se as ferramentas do *software* vocacionadas para este âmbito, tais como *Flow Direction*, *Sink*, *Fill*, *Flow Accumulation* e *Basin*. O *Flow Direction* foi utilizado para gerar um *raster* que representa a direção de fluxo em cada célula (*pixel*) de modo que cada *pixel* é potencialmente cercado por 8 *pixels* vizinhos. Este processo baseia-se no princípio de que a água flui de uma célula para uma das 8 células vizinhas, permitindo assim atribuir a cada uma um valor de acordo com a regra do caminho mais íngreme (O'Callaghan & Mark, 1984; Tarboton, 1997).

Depois, foi necessário recorrer à ferramenta *Sink*, uma vez que o *TIN* utilizado na construção do *Flow Direction* é constituído por depressões, vazios ou mesmo erros de dados. Estes são representados por um conjunto de uma ou mais células que não contêm nenhuma célula com altitude menor ao seu redor. Assim, se estas depressões não forem preenchidas, transformam-se em porções isoladas de bacias hidrográficas não correspondentes à realidade (Fan & Collischonn, 2009). A ferramenta *Sink* foi utilizada para criar um *raster* que identifica os vazios e as possíveis imperfeições no *raster* da superfície.

Seguidamente utilizou-se a ferramenta *Fill* com o intuito de corrigir todos os *sinks* identificados. Por fim realizou-se novamente o *Flow Direction*, obtendo-se uma imagem mais próxima da realidade. A direção do escoamento é indicada a partir de uma célula principal, em função da declividade das células vizinhas, resultando numa imagem com oito colorações, de acordo com as direções de cada *pixel*, permitindo concluir que o fluxo se dirige no sentido das ribeiras principais, da Sancha, dos Moinhos e da Junqueira (Figura 6.4).



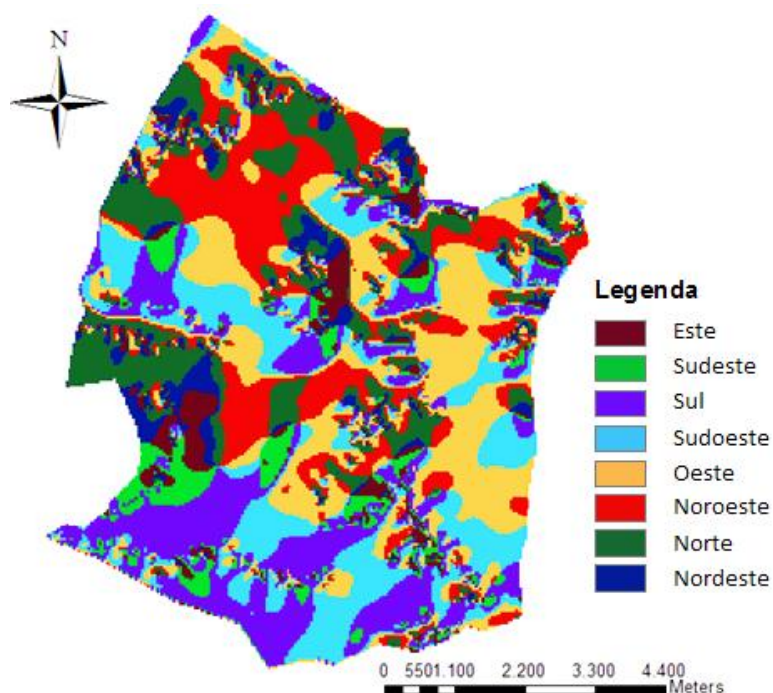


Figura 6.4 – Aplicação da função *Flow Direction* (ArcMap) para desenho do padrão de escoamento superficial na região da ZILS.

Como a representação do padrão de escoamento não saiu objetivo (Figura 6.4), optou-se por fazer uma representação esquemática da direção e sentido do fluxo (Figura 6.5).

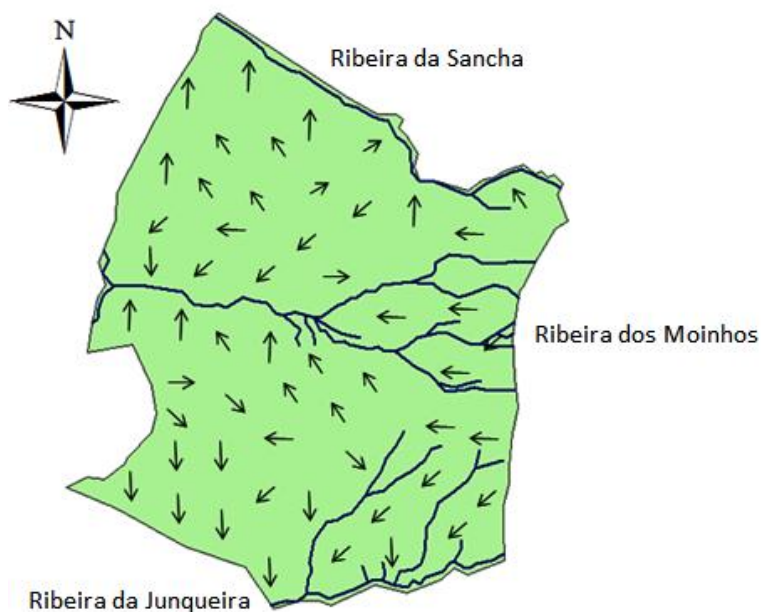


Figura 6.5 – Representação esquemática da direção e sentido do escoamento superficial na zona da ZILS.

A análise da figura mostra que a norte da ribeira dos Moinhos a direção predominante do escoamento superficial dá-se no sentido NW, enquanto a sul, a direção ocorre no sentido SW, seguindo a orientação das bacias hidrográficas.

Com base nos dados conseguidos a partir da direção de fluxo, calculou-se o fluxo acumulado através da ferramenta *Flow Accumulation*. Esta função considera o número de células que drenam para cada célula, ou seja, indica quantas células alimentam a célula em causa (Ramme & Kruger, 2007). A estimativa do fluxo acumulado permite traçar a rede de drenagem (Pilesjo & Zhou, 1997). Quando várias células drenam para uma determinada célula, atribuiu-se um valor, criando um ranking a partir do valor de contribuição recebido para cada célula da matriz. As células que apresentarem os valores maiores, derivados das respetivas contribuições, compõem a rede de drenagem (Figura 6.6).

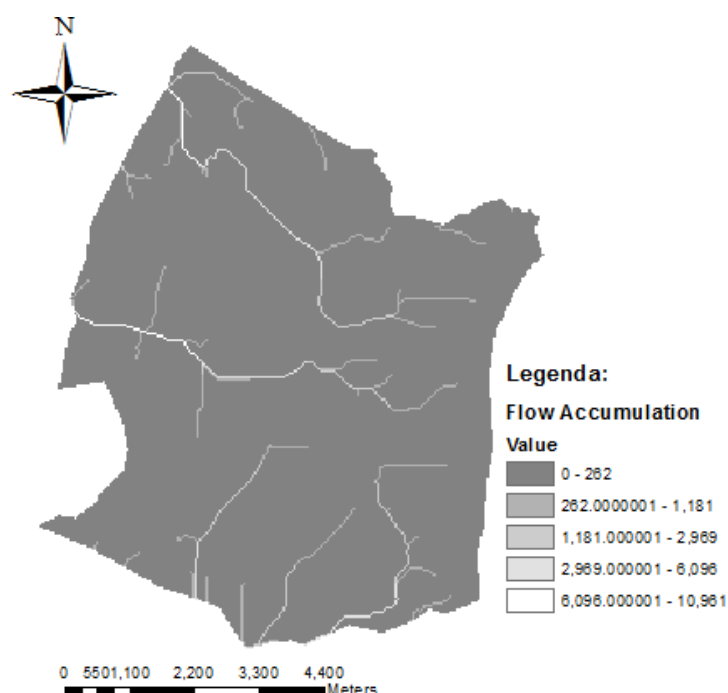


Figura 6.6 – Rede de drenagem estimada pelo *Flow Accumulation*.

Na figura 6.6 observa-se que os valores de maior concentração encontram-se em 3 locais, norte, centro e sul, coincidindo com as ribeiras principais, como já era de esperar.

Por último recorreu-se à ferramenta *Basin* para criar a bacia hidrográfica a partir da direção de fluxo (Figuras 6.4 e 6.5). Esta, devido às características geográficas e topográficas do terreno, define-se como a área onde ocorre a captação de água (drenagem) que alimenta a linha de água principal e os seus tributários. Deste passo, resultou a formação de 3 bacias principais correspondentes às ribeiras da Sancha, dos Moinhos e da Junqueira (Figura 6.7).



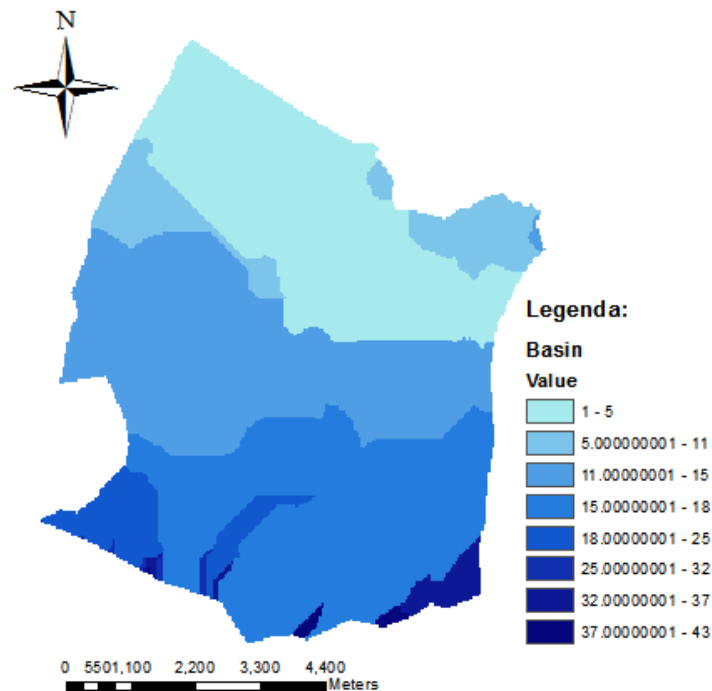


Figura 6.7 – Bacias hidrográficas simuladas a partir do modelo digital do terreno na área da ZILS.

## 6.2 – Modelo hidrogeológico

O modelo hidrogeológico conceptual possui dados num formato intermédio entre a realidade e a simulação, o que faz com que ele represente a ponte entre a realidade física do terreno e a representação numérica do fluxo subterrâneo e do transporte de massa. Este resulta da interpretação hidrogeológica da base geológica caracterizada no capítulo 5, corroborando com a existência de um sistema multicamada constituído por dois aquíferos, um livre e outro confinado, nas unidades meso-cenozóicas (Plio-Plistocénico e Jurássico) e um aquífero fissurado nos xistos e grauvaques da Formação de Mira (Paleozóico).

A primeira unidade é constituída essencialmente por areias e a segunda por calcários cristalinos, às vezes margosos, e margas. As espessuras máximas reconhecidas na área da ZILS são respetivamente de 58,65 m e 130,5 m. Estas encontram-se separadas por um nível argiloso descontínuo do Miocénico que pode alcançar no local 16,4 m de espessura. Este funciona como camada confinante situada entre a base do aquífero superior e o topo do aquífero inferior. Assume-se de capital importância o comportamento hidrogeológico do sistema aquífero, a direção e sentido do escoamento e a comunicação hidráulica que se estabelece, pontualmente, entre o aquífero poroso e

o cársico. Na ausência desta camada os dois aquíferos comunicam entre si, estabelecendo-se novo equilíbrio dinâmico e transferências de água e contaminantes de acordo com as cargas hidráulicas.

Próximo do litoral, a norte da ribeira dos Moinhos e até à ribeira da Sancha, o aquífero superior, poroso, não confinado, recebe recarga direta de águas pluviais que se encaminham engrossando o escoamento subterrâneo em sentido SE-NW. Nesta zona o aquífero inferior, cársico, é confinado pelas argilas do Miocénico e o sentido do escoamento é para NW em direção ao oceano. A ribeira da Sancha está em comunicação hidráulica com o aquífero superior e a ribeira dos Moinhos é alimentada pela descarga deste aquífero ao longo da margem esquerda (Figura 6.8, Perfil A).

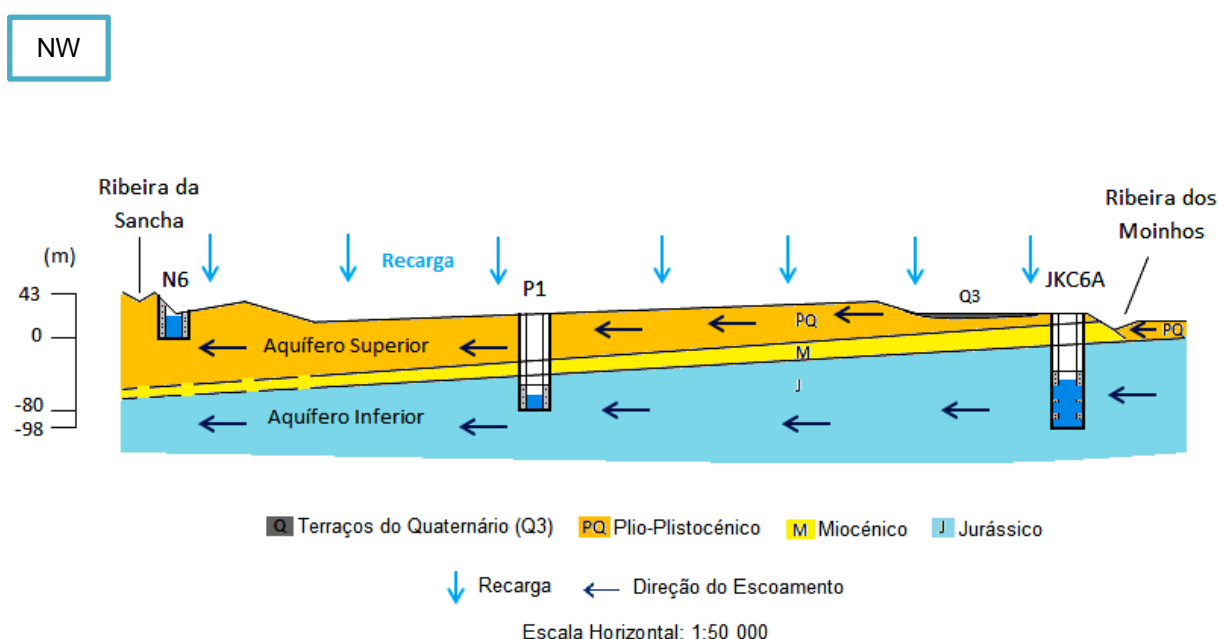


Figura 6.8 – Perfil A: Representação das unidades hidrogeológicas e da direção do escoamento subterrâneo entre as ribeiras da Sancha e dos Moinhos.

Para o interior, no sentido SE, desde a falha da Maria das Moitas até ao contacto com o Paleozóico foi reconhecida a camada porosa do Plio-Plistocénico, ou seja, o aquífero superior (Figura 6.9, Perfil B). O escoamento no sistema é de SE para NW até ao oceano, onde se situará a zona de descarga. A recarga resulta da infiltração direta da precipitação e da descarga do aquífero fissurado ao longo do contacto, por falha, entre o Paleozóico e o Meso-Cenozóico. Este contacto não identificado à superfície por dificuldades relacionadas com a uniformidade litológica do Plio-Plistocénico é evidenciado pela ocorrência de nascentes em alinhamentos preferenciais (Nascentes Lagoa do Paço e Lagoa de C<sup>a</sup> Fontanal). O Miocénico não foi intercetado pelas sondagens do perfil, no entanto, este surge entre o aquífero superior e o inferior a oeste da falha da Maria das Moitas.



Na zona sul da ZILS, junto à ribeira da Junqueira, não foi identificado o aquífero inferior cársico. O aquífero superior do Plio-Plistocénico, pouco espesso, assenta diretamente sobre os xistos da Formação de Mira (Figura 6.11, Perfil D). Estes confirmam a existência de um aquífero fissurado que descarrega para o oceano, com escoamento no sentido SW, e que alimenta a ribeira da Junqueira.

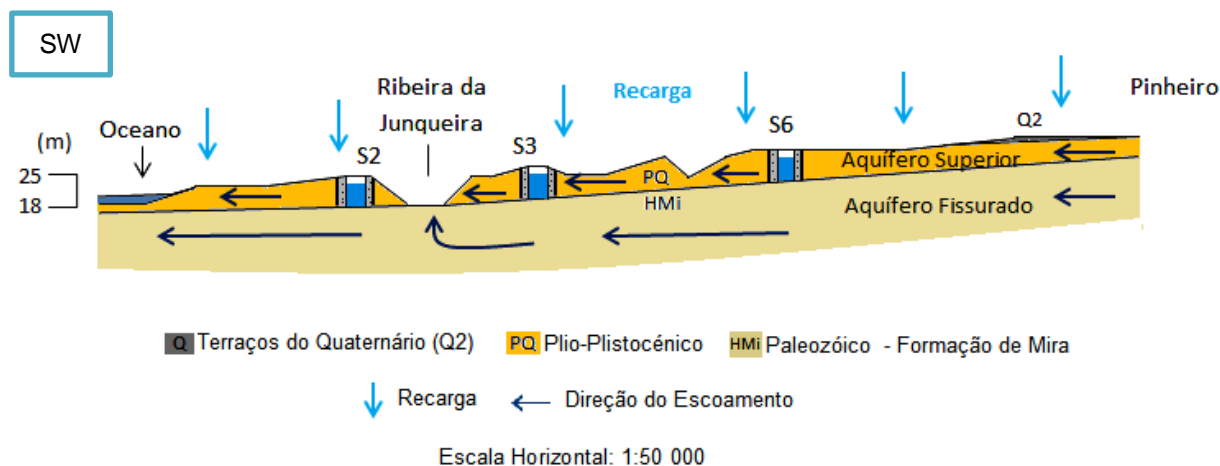


Figura 6.11 – Perfil D: Representação das unidades hidrogeológicas e da direção do escoamento subterrâneo entre a região de Pinheiro e o oceano, passando pela ribeira da Junqueira.

Na zona sul da ZILS desde o Maciço Eruptivo de Sines até à ribeira da Junqueira aflora o aquífero superior. Este é pouco espesso e assenta, a este da falha da Maria das Moitas, diretamente sobre o aquífero fissurado. A oeste desta falha assume-se a existência de camadas do Miocénico e do Jurássico. O escoamento subterrâneo dirige-se de este para oeste e a recarga do aquífero superficial resulta da infiltração direta das águas pluviais (Figura 6.12, Perfil E).

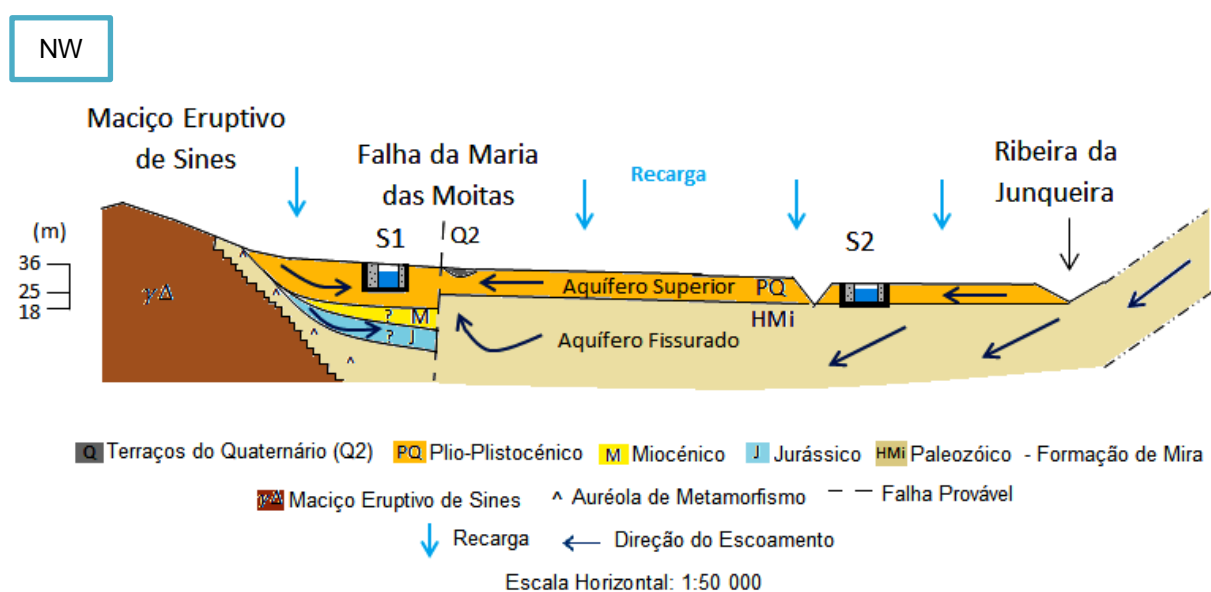


Figura 6.12 – Perfil E: Representação das unidades hidrogeológicas e da direção do escoamento subterrâneo numa secção paralela à linha de costa, entre o Maciço Eruptivo de Sines e a ribeira da Junqueira.

A geologia da região encontra-se estruturada sob a forma de um *graben*, controlada por falhas com direção NNE-SSW, identificadas na cartografia geológica, cujo prolongamento para a área da ZILS coincide com as prováveis falhas da Maria das Moitas, da nascente da Fonte Branca, Lagoa do Paço e Lagoa de C<sup>a</sup> Fontanal e a falha localizada junto ao Seiceiro, que, em determinados locais, estão associadas a nascentes. O modelo hidrogeológico conceptual proposto para a região assenta na percepção desta estrutura que se relaciona com o admissível funcionamento hidráulico do Sistema Aquífero de Sines na região da ZILS (Figura 6.13).

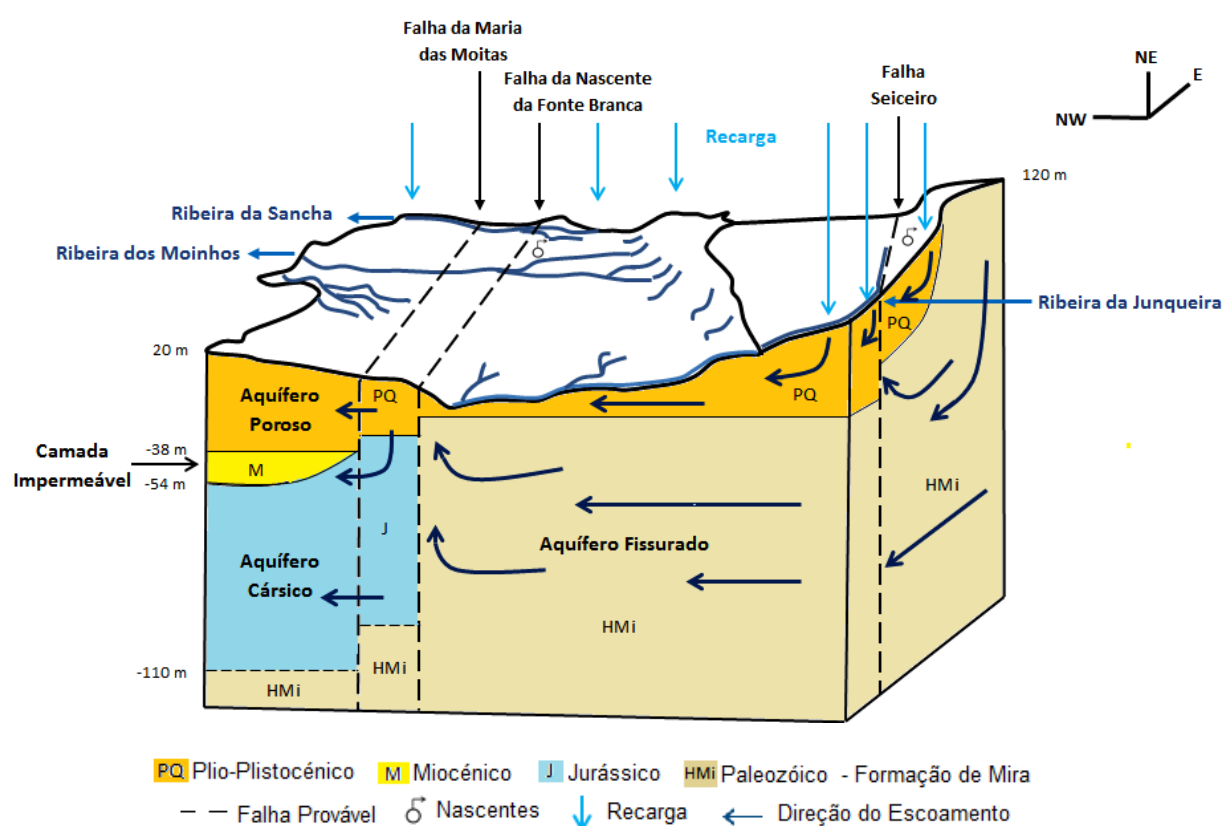


Figura 6.13 – Modelo hidrogeológico esquemático em 3D para a região da ZILS.

## **CAPÍTULO 7 – Rede de Monitorização da ZILS**

A aicep Global Parques, S.A. com o intuito de projetar uma rede de monitorização na ZILS e tendo a preocupação de a articular com outras já existentes e da propriedade de entidades a operar no local (Galp, S.A., Repsol, S.A., Artenius, S.A., Águas de Santo André, S.A., Câmara Municipal de Sines, Administração do Porto de Sines e ARH Alentejo), reuniu para a Massa de Água 032 – Sines informação de 312 pontos de água subterrânea (134 furos, 172 poços, 4 nascentes e 2 charcas), dos quais, 60% estão ativos, 17% sob reserva e 23% abandonados.

Foi proposta uma rede de monitorização com o objetivo de obter uma caracterização espacial da qualidade da água e da sua evolução temporal que permitisse reconhecer a presença de substâncias com concentrações superiores aos valores regulamentados e identificar atempadamente a presença de contaminantes; capaz de maximizar a probabilidade de deteção e minimizar a redundância e a probabilidade de falsos positivos; de detetar emissões provenientes das indústrias através dos contaminantes libertados e criando assinaturas químicas com base em parâmetros químicos específicos; de identificar a contaminação proveniente do exterior da ZILS; de gerar metodologias conhecidas, testadas e validáveis entre pares; e de cumprir os requisitos mínimos obrigatórios de qualidade (Chambel *et al.*, 2010).

A rede de monitorização proposta para o aquífero superior deveria ser constituída por 36 pontos de amostragem, 14 dos quais seriam novos pontos com profundidades a variar entre 15 e 20 m. Para o aquífero inferior a rede seria constituída por 13 pontos, sendo 1 novo com profundidade de 100 m. Na realidade foram constituídos 12 piezómetros novos para o aquífero superior e para o inferior foram criados 2 piezómetros e reentubados 2 dos existentes. Quanto às águas superficiais, considerou-se necessário amostrar dois pontos na ribeira dos Moinhos. Um ponto de localização fixa, situado a jusante da ZILS, com o objetivo de avaliar o impacte da atividade industrial na qualidade do curso da água e o outro com localização móvel, variando com a identificação de pontos de rejeição de efluentes na ribeira. As redes implementadas assentam em análises de custo-benefício, baseadas no risco.

A frequência de amostragem proposta passa pela recolha de amostras a cada 6 meses, preferencialmente, a meio e no final de cada ano hidrogeológico, ou seja, nas épocas húmida e seca. Contudo, o pH, temperatura, condutividade elétrica e potencial hidráulico seriam continuamente medidos nos pontos de monitorização do aquífero profundo de modo a acompanhar o estado quantitativo e qualitativo do aquífero.

Para a execução dos novos pontos de monitorização deu-se início ao projeto de “Construção dos piezómetros de monitorização do sistema aquífero no âmbito do plano de monitorização ambiental da Zona Industrial e Logística de Sines” da aicep Global Parques, S.A. Este teve como objetivo dotar a ZILS de uma rede piezométrica do aquífero superior, avaliar o comportamento hidráulico do aquífero inferior e a recolha de água subterrânea de ambos os aquíferos para a realização de análises físico-químicas laboratoriais.

O “Projeto de Execução” pretendeu recuperar pontos de água existentes e efetuar novos furos de pesquisa para transformação em piezómetros. Para o aquífero inferior foram reconhecidos 5 piezómetros antigos que poderiam ser aproveitados para a monitorização, nomeadamente o JKP3, JKP4, JKP14, JKP15 e JKP19. Estes possuíam profundidades, características construtivas e estado estrutural desconhecidos sendo, por isso, essencial recorrer a uma avaliação prévia e ulterior avaliações específicas. O JKP4, JKP15 e o JKP19 estavam inoperacionais. O JKP14 apresentava uma avaria grave e o JKP15 foi substituído pelo JKC6A devido à sua proximidade. O JKP3 e o JKC6A, após entubamento, apresentaram boas condições estruturais para serem utilizados como piezómetros para monitorizar o aquífero inferior. Para substituir o JKP14 foi projetado e construído um novo piezómetro, o P2 (Rodrigues, 2013).

No final foram construídos 16 piezómetros para integrar a rede de monitorização da aicep Global Parques, S.A., 12 no aquífero superior e 4 no aquífero inferior. Em cada piezómetro foi instalada instrumentação de registo do nível piezométrico e temperatura. No piezómetro P2 foi instalado também um sistema de monitorização da pressão atmosférica, um cabo de suspensão em aço, braçadeiras, um adaptador e um cabo submersível para recolher os dados na cabeça do piezómetro. Este sistema vai permitir efetuar a compensação barométrica das leituras registadas em todos os piezómetros da rede de monitorização. Todas as sondas foram programadas para efetuar medições com a periodicidade diária às zero horas de cada dia (Rodrigues, 2013).

A profundidade dos tubos ralos nos piezómetros é muito importante, uma vez que é por estes que a água entra, representado assim a parte do aquífero que está a ser monitorizada (Quadro 7.1 e Anexo 1).

Quadro 7.1 – Profundidade dos tubos ralos dos piezómetros da aicep Global Parques, S.A.

ID	Profundidade dos Tubos Ralos
N2	-2,20 m aos -30,00 m
N3	-2,35 m aos -12,70 m
N4	-2,00 m aos -20,00 m
N5	-3,00 m aos -22,00 m
N6	-2,20 m aos -24,90 m
N7	-2,00 m aos -20,00 m
N8	-2,20 m aos -10,40 m
S1	-2,00 m aos -11,80 m
S2	-2,40 m aos -7,00 m
S3	-1,52 m aos -6,64 m
S5	-2,10 m aos -12,64 m
S6	-1,70 m aos -8,90 m
P1	-84,40 m aos -105,00 m
P2	-59,66 m aos -84,66 m
JKC6A	-96,00 m aos -98,00 m
	-103,00 m aos -107,00 m
	-118,00 m (aproximadamente) aos 120,00 m
JKP3	-31 m aos -48 m
	-60 m aos -66 m
	-100 m aos -120 m

A localização destes piezómetros teve em conta o relatório sobre “Avaliação técnica dos níveis de contaminação existentes e ações corretivas a implementar (contaminação de águas subterrâneas por hidrocarbonetos no Sistema Aquífero de Sines e zona portuária de Sines)” de Chambel *et al.*, 2010. Teve como base os percursos principais para a propagação de contaminantes na zona saturada relacionados com um sistema local de fluxo pouco profundo controlado pela ribeira de Moinhos (zona de descarga do aquífero superficial) e com um sistema de fluxo para oeste, mais profundo, dominado por formações carbonatadas muito heterogéneas. Considerou também a separação da ZILS em dois setores pelo alinhamento coincidente com uma falha regional (Figura 7.1) em consonância com a existência ou não de conexão hidráulica entre os dois aquíferos e o artesianismo repuxante no aquífero inferior. Esta comunicação ocorre a S e a E do alinhamento. A posição de potenciais fontes de contaminação, assim como outros fatores, foram tidos em conta para a localização dos piezómetros.





Figura 7.1 – Separação da área de ocorrência de artesianismo repuxante, a norte e oeste do alinhamento (azul) (Adaptado de Chambel *et al.*, 2010).

## CAPÍTULO 8 – Considerações Finais, Análise Crítica e Trabalhos Futuros

No presente trabalho foi realizada uma caracterização geológica e hidrogeológica da Zona Industrial e Logística de Sines (ZILS) com o intuito de ampliar o conhecimento sobre a região. Esta zona é abrangida pelo Sistema Aquífero de Sines que detém características hidrogeológicas que lhe conferem uma grande suscetibilidade à contaminação. Na ZILS estão instaladas diversas empresas que exercem fortes pressões sobre os recursos hídricos podendo, conseqüentemente, quando não cumpridas as normas de qualidade, contaminar as águas superficiais, subterrâneas e o solo.

Este estudo consistiu em: (i) revisão bibliográfica; (ii) recolha de dados geológicos e hidrogeológicos dos arquivos da aicep Global Parques, S.A., SNIRH e LNEG; (iii) tratamento dos dados obtidos com recurso ao *software ArcGIS* e ao traçado de perfis geológicos interpretativos; (iv) realização do modelo hidrogeológico e respetiva adequação da rede de monitorização.

A interpretação geológica foi baseada em perfis geológicos que intercetam as unidades litoestratigráficas conhecidas na região, desde o Quaternário ao Paleozóico, passando pelo Plio-Plistocénico, Miocénico, Jurássico e Triásico, incluindo a relação com o Maciço Eruptivo de Sines. O modelo concebido leva a crer que a geologia da região se encontra estruturada numa depressão em forma de um *graben* controlado por falhas com orientação NNE-SSW. Estas parecem constituir o prolongamento de falhas conhecidas ou prováveis na região, tais como, a falha da Maria das Moitas e outras associadas a nascentes.

Verifica-se que a hidrologia e a hidrogeologia na região da ZILS são dependentes do modelo geológico e geomorfológico regional. O modelo digital do terreno e a rede hidrográfica associada mostra que a norte da ribeira dos Moinhos a direção predominante do escoamento superficial ocorre no sentido NW e a sul no sentido SW. O modelo hidrogeológico 3D feito com base em perfis interpretativos confirma que o Sistema Aquífero de Sines é composto por 2 aquíferos, um superficial poroso livre localizado nas areias do Plio-Plistocénico e outro profundo cársico confinado localizado nos calcários do Jurássico. Reconheceu-se a existência de um aquífero fissurado nos xistos da Formação de Mira do Paleozóico, que em alguns locais, pode alimentar o sistema aquífero materializado nas unidades meso-cenozóicas. A direção e sentido do escoamento subterrâneo é predominantemente E-W, para o oceano Atlântico.

Os aquíferos, superior e inferior, encontram-se, em grande parte da sua extensão, separados por uma camada argilosa impermeável do Miocénico, identificada nos pontos N3, N8, P1, JKC6A, 516/30, 516/21, 516/18, 516F0013, 516F0010 e 516F0016. Esta unidade não foi reconhecida nas sondagens P2 e 516F0006, situadas a este da falha da Maria das Moitas, e, por isso, nesta região admite-se a existência de comunicação hidráulica entre os dois aquíferos. Esta conexão facilita a passagem de contaminantes do aquífero superior para o inferior aumentando, naturalmente, a sua vulnerabilidade e conseqüentemente o número de pontos de monitorização.

## CAPÍTULO 8 – Considerações Finais, Análise Crítica e Trabalhos Futuros

Os pontos projetados para o alargamento da rede de monitorização da ZILS compreendem 16 piezómetros, 12 para o aquífero superior e 4 para o inferior, em consonância com a maior vulnerabilidade e preocupação com o aquífero poroso. Salvaguardando o que se desconhece da totalidade da rede, uma vez que só se teve acesso a parte da informação, verifica-se que a amostragem do aquífero superficial é muito mais completa do que a do aquífero profundo, originando um desequilíbrio na avaliação dos impactes e no estabelecimento de relações de causalidade.

O aquífero superior é monitorizado pelos pontos N2, N3, N4, N5, N6, N7, N8, S1, S2, S3, S5 e S6. Com estes, procura-se acompanhar a evolução temporal do nível hidrostático, de modo a reunir séries que permitam fazer análises de tendência e projeções futuras, principalmente na zona de recarga e nos setores onde existe comunicação hidráulica com o aquífero inferior (Figuras 6.9 e 6.10). P. Em termos de qualidade devem servir para detetar contaminantes e, consoante o tipo destes, serem projetados para intercetarem a totalidade, o topo ou a base do aquífero, de modo a amostrarem contaminantes líquidos ou gasosos, miscíveis ou imiscíveis. Como é sabido os contaminantes mais preocupantes neste local são os hidrocarbonetos. Estes tendem a migrar verticalmente e a circular acima da zona saturada, como tal, para serem detetados nos piezómetros, os tubos ralos devem situar-se a partir da superfície e até ao nível freático. Todos os piezómetros projetados monitorizam a parte superficial do aquífero superior. Como este aquífero é pouco espesso e muito poroso, junto aos focos de contaminação deveria procurar-se monitorizar toda a espessura aquífera, o que não se verifica nos piezómetros N2, N4, N5, N6, N7 e S1. Por exemplo, o prolongamento do ponto N6 (Figuras 6.8 e 6.9) até alcançar o Miocénico argiloso permitiria amostrar toda a espessura aquífera e assim detetar plumas de contaminantes aquosos não miscíveis com a água e com maior densidade. Estes circulam na base do aquífero e são provenientes de indústrias situadas a montante da direção de escoamento, como por exemplo a Metalsines.

Pela mesma razão, os piezómetros instalados para monitorização do aquífero inferior deveriam ter em conta o tipo de informação que pretendem recolher, se qualitativa ou quantitativa. Para avaliação da exploração este deveria ser monitorizado simultaneamente nos troços onde é confinado (P1 e JKC6A, Figuras 6.8 e 6.10) e onde está em comunicação hidráulica com o aquífero detrítico superior (P2, Figuras 6.9 e 6.10), a fim de acompanhar a evolução do nível piezométrico e de avaliar um possível depauperamento do aquífero. Para estudo da contaminação a amostragem deveria incluir a parte superficial e basal do aquífero. Devido à profundidade (não reconhecida) da base dos calcários do Jurássico, nenhum dos piezómetros estudados a alcançou. Nestes a colocação dos tubos ralos deveria ter tido em conta o limite superior do aquífero de modo a coletar contaminantes menos densos que a água (P1, P2, JKC6A, Figuras 6.8, 6.9 e 6.10).

Tendo em conta a direção de escoamento regional e as possíveis fontes de contaminação por hidrocarbonetos dentro do perímetro da ZILS, constata-se que uma contaminação proveniente da Galp Energia dirigir-se-ia para SW, em direção à praia de S. Torpes. Se, por outro lado, esta contaminação provier da Repsol, os contaminantes dirigir-se-iam para NW em direção ao oceano.

## CAPÍTULO 8 – Considerações Finais, Análise Crítica e Trabalhos Futuros

Entre a fonte de contaminação e a zona de descarga da água subterrânea é essencial ter vários pontos de monitorização e um acompanhamento mais frequente.

Os dados do piezómetro 516/127 da rede de qualidade do SNIRH mostram oscilação temporal em alguns parâmetros monitorizados. A condutividade varia entre 600 e 900  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , o pH é próximo de neutro e a temperatura ronda os 20°C. A concentração de nitrato oscila ao longo do ano, e situa-se abaixo de 30 mg/l, o valor máximo foi registado em abril de 2007 e o valor mínimo (inferior a 5 mg/l), em dezembro de 2008. Nota-se tendência decrescente na concentração de cloreto (entre 150 a 75 mg/l) e de sulfato (entre 60 e 20 mg/l), de novembro 2006 a dezembro de 2010. No mesmo intervalo de tempo é também observado um decréscimo na concentração de fosfato (entre 0,07 a 0,02 mg/l). Com tendência de crescimento, embora, inferior a VMR, surge o crómio, o ferro e o vanádio, em análises executadas em 2009 e 2010. Com uma única análise, feita em 2010, e concentração inferior ao VMR temos o arsénio, o boro, o chumbo, o cádmio, o mercúrio, o níquel, o selénio e os cianetos. A concentração de zinco e manganês sofreu uma subida pontual em 2007 e 2008, alcançando o zinco valores acima de VMR. Em novembro de 2009 e maio de 2010 foram analisados hidrocarbonetos aromáticos polinucleares, sendo a sua concentração na ordem de 0,015 mg/l, e pesticidas totais abaixo de VMR. A presença de nitrito, as concentrações superiores a 0,05 mg/l de azoto amoniacal e de coliformes fecais e totais denunciam possível contaminação orgânica.

O nível hidrostático do piezómetro 516/18 da rede de quantidade do SNIRH observado nos anos hidrológicos de 2006/07 a 2013/14, mostra dependência e relação com a precipitação, subindo no período chuvoso e descendo na época seca.

Confrontando o modelo hidrogeológico reconhecido para a ZILS com o modelo regional anteriormente definido para o Sistema Aquífero de Sines, constata-se haver discordância, na interpretação, em relação ao modo e ao local por onde passa a linha divisória do escoamento superficial. O modelo aceite para o Sistema Aquífero de Sines considera que esta passa pela ribeira dos Moinhos e que o fluxo subterrâneo se processa, a norte, para SW e, a sul, para NW enquanto, em resultado do presente estudo, verifica-se que a linha divisória coincide com o contacto, por falha, entre a Formação de Mira do Paleozóico e o Meso-Cenozóico, obedecendo a um controlo estrutural e dirigindo-se de SE para NW. A este deste alinhamento o escoamento dirige-se para SW, em direção ao oceano.

Por outro lado, no modelo atual, o limite a partir do qual ocorre comunicação hidráulica entre os dois aquíferos está mal definido, uma vez que só faz menção a uma falha regional acompanhada de um esquema pouco preciso (Figura 7.1). No modelo proposto, este alinhamento relaciona-se provavelmente com o prolongamento da falha da Maria das Moitas. Tal poderia ser confirmado com amostragem e análise de água das nascentes da Fonte Branca, Lagoa do Paço e Lagoa C.<sup>a</sup> Fontanal.

Para otimização da rede de monitorização da ZILS seria necessário dispor de mais e melhor informação sobre a rede atual (dados qualitativos, quantitativos e localização dos restantes piezómetros), com que não se contou para a realização deste trabalho. Assim, a título de

## **CAPÍTULO 8 – Considerações Finais, Análise Crítica e Trabalhos Futuros**

recomendação para trabalhos futuros considera-se pertinente a disponibilização de novos dados para análise e subsequente modelação a fim de se equacionarem simulações em cenários futuros.

## CAPÍTULO 9 – Referências Bibliográficas

Agência Portuguesa do Ambiente – APA (2014) Questões Significativas da Gestão da Água (QSiGA). Região Hidrográfica do Sado e Mira (RH6). Plano de Gestão de Região Hidrográfica 2016/2021. Participação Pública.

aicep Global Parques. Disponível em: <http://www.globalparques.pt/>. Consultado a 8 de dezembro de 2014.

AgSolve (2014) Perigo: Contaminação das águas subterrâneas por hidrocarbonetos. Disponível em <http://www.agsolve.com.br/noticias/perigo-contaminacao-das-aguas-subterraneas-por-hidrocarbonetos>. Consultado a 24 de agosto de 2015.

Aller, L., Bennet, T., Lehr, J. H. & Petty, R. J. (1987) DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Groundwater Pollution Potencial using Hydrogeologic Setting. Epa Report-600/2-85/018, 455 p.

Almeida, C., Gomes, A. J., Jesus, M.R. & Mendonça, J. L. (2000) Sistemas Aquíferos de Portugal Continental. Relatório. INAG. Lisboa. Doc. Elect. CD-ROM, 333 p.

Andrade, C. Freire De (1937-38) Os Valores Submarinos Portugueses e o Diastrofismo das Berlengas e Estremadura. Mem. Serv. Geol. Portugal, Lisboa, 249 p.

Antunes, M., Mein, P. & Pais, J. (1986) Depósitos messinianos do Sul de Portugal, mamíferos (incluindo Rodentia e Lagomorpha) e idades K-Ar. Ciências da Terra (UNL), Lisboa, 8:55-64.

Antunes, M. & Pais, J. (1992) The Neogene of Portugal. Ciências da Terra (UNL), Lisboa, nº especial II: 13-24.

ArcGIS Resources. Disponível em: <http://resources.arcgis.com/en/help/>. Consultado a 4 de junho de 2015.

ARH Alentejo (2012) Administração da Região Hidrográfica do Alentejo, I. P. Planos de Gestão das Bacias Hidrográficas Integradas nas Regiões Hidrográficas 6 e 7. Região hidrográfica 6. Volume I. Relatório.

Bastos, M. R., Dias, J. A., Batista & M., Batista, C. (2012) Ocupação do Litoral do Alentejo, Portugal: Passado e Presente. Revista da Gestão Costeira Integrada 12. Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, Lisboa.

Cabral, J (2012) Neotectonics of Mainland Portugal: State of the Art and Future Perspectives. Journal of Iberian Geology, 38 (1): 71-84.

Chambel, A. & Monteiro, J. P. (2007) Estudo Hidrogeológico do Sistema Aquífero e Definição dos Perímetros de Protecção das Captações de Água Subterrânea das ÁGUAS DE SANTO ANDRÉ SA, com Recurso à Modelação Matemática. Universidade de Évora / Universidade do Algarve. Relatório Técnico, 89 p.

Chambel, A., Monteiro, J. P., Nunes, L. M., Duque, J., Martins, R., Silva, D. & Coelho, R. (2010) Avaliação Técnica dos Níveis de Contaminação Existentes e Acções Correctivas a Implementar (Contaminação de Águas Subterrâneas por Hidrocarbonetos no Sistema Aquífero de Sines e Zona Portuária de Sines). Relatório Final. Volume I-IV. Administração da região hidrográfica do Alentejo, I.P.

Choffat, P. (1885-87) Recherches sur les Terrains Secondaires au Sud du Sado. Comum. Com. Trab. Geol. Portugal, Lisboa, I (II): 222-312.

Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de Agosto. Diário da República nº 176/98 – I Série A. Ministério do Ambiente. Lisboa, 3676-3722.

Decreto-Lei nº 169/2001 de 25 de Maio. Diário da República nº 121 – I Série A. Ministro do Ambiente. Lisboa, 3053-3059.

Decreto-Lei nº 77/2006 de 30 de Março. Diário da República nº 64 – I Série A. Ministro do Ambiente. Lisboa, 2331-2354.

Decreto-Lei nº 208/2008 de 28 de Outubro. Diário da República nº 209 – I Série. Ministério do Ambiente. Lisboa, 7569-7575.

Dias, C. L., Alves Barbour, E. D., Modesto, R. P., & Pinatti Casarini, D. C. (2008) A Importância do Monitoramento das Águas Subterrâneas na Gestão dos Recursos Hídricos, 15 p.

Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Outubro. Jornal Oficial das Comunidades Europeias, L327, 22/10/2000, 1-73.

Directiva 2006/118/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 12 de Dezembro, Jornal Oficial das Comunidades Europeias, L372, 12/12/2006, 19-31.

EPPNA (1998) Informação Cartográfica dos Planos da Bacia. Sistematização das Figuras e Cartas a Imprimir em Papel. Equipa de Projecto do Plano Nacional da Água. Versão de Outubro de 1998, Lisboa, 29 p.

ERHSA (2001) Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Alentejo (ERHSA). Relatório do Projecto. Comissão de Coordenação da Região do Alentejo.

European Communities – Ec. (2003) Guidance document nº 7 – Monitoring Under the Water Framework Directive. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Working Group 2.7 – Monitoring Luxembourg. ISBN 92-894-5127-0 ISS 1725-1087, 160 p.

Fan, F.M & Collischonn, W. (2009) Manual Arc-Hydro para Aplicação do Modelo MGB-IPH Projecto Integrado de Cooperação Amazônica e de Modernização do Monitoramento Hidrológico.

Fetter, C. W. (2001) Applies Hydrogeology. 4ª Edição. ISBN 0-13-088239-9, New Jersey, 588 p.

Francés, A., Paralta, E., Fernandes, J. & Ribeiro, L. (2001) Development and Application in the Alentejo Region of a Method to Assess the Vulnerability of Groundwater to Diffuse Agriculture Pollution: The Susceptibility Index. 3<sup>rd</sup> International Conference on Future Groundwater Resources at Risk, IAH/Unesco, Lisbon, 9 p.

Grabow, G. L., Mote, C. R., Sanders, W.L., Smoot, J. L. & Yoder, D. C. (1993) Groundwater Monitoring Network using Minimum Well Density. Water Science and Technology, II, 28 (3-5): 327-335.

Harmancioglu, N. B., Ozkul, S. D. & Alpaslan, M. N. (1998) Water Quality Monitoring and Network Design, in: N. B. Harmancioglu, V. P. Singh & M. N. Alpaslan (eds.), Environmental Data Management, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 61-106.

Horta da Silva, J. A. & Almeida, F. (1982) Condições Hidrogeológicas na Área de Sines. Gabinete da Área de Sines, Laboratório de Geotecnia e Materiais de Construção. Relatório Técnico, nº 22/82, Vol. I & II.

IGeo, Instituto Geográfico do Exército (1945) Carta Militar de Portugal – Folha nº 516 Santiago do Cacém. (1:25 000).

IGeo, Instituto Geográfico do Exército (1945) Carta Militar de Portugal – Folha nº 526 Provença (Sines). (1: 25 000).

IGeo, Instituto Geográfico do Exército (1947) Carta Militar de Portugal – Folha nº 515-A Sines. (1: 25 000).

Instituto da Água – INAG (1996) Reestruturação da Rede de Monitorização de Recursos Hídricos – Aspectos Metodológicos (versão trabalho). Direcção de Serviço de Recursos Hídricos, Lisboa, 1-58.

INAG (1999) Plano Nacional de Monitorização de Águas Subterrâneas – Implementação de Redes Expeditas. Documento Interno.

Inverno, C. M. C., Manuppella, G., Zbyszewski, G., Pais, J. & Ribeiro, M. L. (1993) Carta Geológica de Portugal na Escala 1:50 000 e Notícia Explicativa da Folha 42-C (Santiago do Cacém). Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 75p.

Laboratório Nacional de Energia e Geologia – LNEG. Geoportal. Base de Dados de Recursos Hidrogeológicos. Disponível em: <http://geoportal.ineg.pt/>. Consultado a 18 de fevereiro de 2015.

Laboratório Nacional da Engenharia Civil, I.P. – LNEC (2008) Avaliação da Eficácia das Medidas de Minimização de Impactes Ambientais Implementadas em Portugal: Recursos Hídricos e Solo. Relatório Final Sectorial. Departamento de hidráulica e ambiente, Núcleo de águas subterrâneas, Núcleo de recursos hídricos e estruturas hidráulicas, 98 p.

Lei nº 58/2005 de 29 de Dezembro. Diário da República nº 249, I-A Série, Assembleia da República, Lisboa, 7280-7310.

Lobo, M. C. (2008) Plano de Urbanização da Zona Industrial e Logística de Sines; Proposta de Plano; Relatório Análise. Instituto Superior Técnico: aicep Global Parques, Sines.

Lobo-Ferreira, J. P. C., Moinante, M. J., Oliveira, M. M., Novo, M. E., Leitão, T.E, Moreira, P.E. & Henriques, M. J. (1999) Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Sado. 1ª Fase. Caracterização dos Recursos Hídricos Subterrâneos da Área abrangida pelo Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Sado. Anexo temática 4 – recursos hídricos subterrâneos. Estudo realizado para a hidroprojecto, engenharia e gestão, S.A., 258 p.

Lopes, A. R., Rodrigues, F. & Rodrigues, R. (2000) Metodologia Expedita para Implementação de Redes de Monitorização de Águas Subterrâneas no Norte de Portugal.

Manuppella, G. (1970) Rochas Dolomíticas de Santiago do Cacém. Estudos, notas e trabalhos. Serviço fomento mineiro, Porto, XIX (3-4): 277-295.

Manuppella, G. & Moreira, J. C. Balacó. (1983) Utilização Industrial dos Calcários do Dogger de Santiago do Cacém. Bol. Minas, D.G.G.M, Lisboa, 20(2): 77-84.

Manuppella, G., Rocha, R.B., Marques, B. & Ramalho, M.M. (1984) Cartografia Geológica do Algarve. Comunicações apresentadas no 3º Congresso sobre o Algarve, vol. 2, 693-704.

Manuppella, G. & Moreira, J. C. Balacó. (1989) Calcários e Dolomitos da Área de Melides – Santiago do Cacém. Estudos, Notas e Trabalhos. Serviços de Formato Mineiro, Porto, 31: 79-84.

Mendes, F. (1968) Contribution à L'étude Géomorphologique, par la Méthode du Strontium, Desformations Cristallines du Portugal. Bol. Mus. Lab. Miner. Geol. Fac. Ciên. Univ, Lisboa, 11(1): 155 p.

Monteiro, J.P., Chambel, A. & Martins, J. (2008) Conceptual and Numerical Flow Model of the Sines Aquifer System (Alentejo, south Portugal). International Groundwater symposium. International Association of hydraulic engineering and research (IAHR). Istanbul – Turkey, p 38 (abstract) and doc. Elect. CD-Rom, 9 p.



- O'Callaghan, J. F. & Mark, D. M. (1984) The Extraction of Drainage Networks from Digital Elevation Data. *Computer vision, graphics, and image processing*, n. 28, 323-344.
- Paralta, E. A., Midões, C. P., da Costa, C. G. & Costa, A. M. (2000) Estudo Hidrogeológicos e Redes de Monitorização em Perímetros de Rega – Um caso de Estudo na Região de Canhestros. 5º Congresso da água, APRH, Coimbra.
- Pilesjo, P. & Zhou, Q. (1997) Theoretical Estimation of Flow Accumulation from a Grid – Based Digital Elevation Model *Proceedings of GIS AM/FM ASIA'97 and Geoinformatics'97 Conference*, Taipei, n. 26-29, 447-456.
- Pimenta, M. T., Álvares, A. T., Santos, M. J., Gomes, F., Quadrado, F., Lopes, A. R., Rodrigues, R., Lacerda, M. & Rodrigues, A. C. (n.d.) *Reestruturação das Redes de Monitorização. I – Aspectos Metodológicos*. Ponte, 1-11.
- Portugalglobal (2008) *Pense global pense Portugal. aicep Global Parques*. Disponível em: <http://www.portugalglobal.pt/>. Consultado a 23 de abril de 2015.
- Ramme, E. J.M. & Kruger, C. M. (2007) *Delimitação de Bacias Hidrográficas com Auxílio de Geoprocessamento* In: *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 17 p.
- Ribeiro, A. (1979) *Cadre Structural et Géotectonique*, in A. Ribeiro, M. T. Antunes, M. P. Ferreira, R. B. Rocha, A. F. Soares, G. Zbyszewski, F. Montinho de Almeida, D. Carvalho & J. H. Monteiro. *Introduction à la géologie générale du Portugal*, Serv. Geol. Portugal, Lisboa, 71 (1): 41-50.
- Ribeiro, A., Kullberg, M. C., Kullberg, J. C., Manuppella, G. & Phipps, S. (1990) A Review of Alpine Tectonics in Portugal: Foreland detachment in basement and cover rocks. *Tectonophysics*, 184: 357-366.
- Ribeiro, A., Oliveira, J. T. & Silva, J. B. (1983) *La estructura de la Zona Suportuguesa*, in *Libro Jubilar J. M. Rios, Geologia de Espana*, Instituto Geologico y Minero de Espana, Madrid, I: 504-511.
- Ribeiro, A. & Silva, J. B. (1983) *Struture of the South Portuguese Zone*, in M. J. L. Sousa & J. T. Oliveira (eds.) *The Carboniferius of Portugal*. *Mem. Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, 29: 83-89.
- Ribeiro, C. (1866) *Descrição do Terreno Quaternário das Bacias Hidrográficas do Tejo e Sado*. *Com. Geol., Portugal*, Lisboa, 164 p.
- Ribeiro, C. (1872) *Descrição da Costa Marítima Compreendida entre o Cabo de S. Vicente e a Foz do Rio Douro*. *Ver. Obras Públicas e Minas*, Lisboa, III (35-36): 373-399.
- Ribeiro, L., Lopes, A. R., Cupeto, C & Rodrigues, F. (1999) *Critérios e Metodologias para a Optimização das Redes de Monitorização Piezométrica dos Sistemas Aquíferos de Portugal*, in 4º *Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos países de Língua Oficial Portuguesa (Silusba)*, ed. CDROM, Coimbra.
- Rodrigues, J. D. (1985) *Estudo da Qualidade das Águas Subterrâneas da Bacia de Santo André*. *Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC, Relatório Técnico 177/85 – NP*, Lisboa, 26 p.
- Rodrigues, C. A. B. (2013) *Construção dos Piezómetros de Monitorização do Sistema Aquífero no Âmbito do Plano de Monitorização Ambiental da Zona Industrial e Logística de Sines*. *Relatório Final*.
- Sanders, T. G., Ward, R. C., Loftis, J. C., Steele, T. D., Adrian, D. & Yevjevich, V. (1999) *Design of Networks for Monitoring Water Quality*. *Water Resources Publications, LLC* 336 p. ISBN# 0-918334-51-9.
- Santos, R. P. (2009) *Introdução ao ArcGIS: Conceitos e Comandos*. *The Journal of Biological Chemistry*, 285(3), 1-43.

Simoneti, Marilza de Fátima. (1999) Projeto de Redes para Monitoramento da Qualidade da Água – Um estudo de caso: Bacia Hidrográfica do rio Jundiaí. Dissertação (Mestrado) Universidade de São Paulo. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos – SNIRH. Águas subterrâneas, ARH Alentejo, Sines. Disponível em: <http://snirh.pt/>. Consultado a 5 de março de 2015.

Tarboton, D.G. (1997) A New Determination of Flow Directions and Upslope Áreas in Grid Digital Elevation Models. *Water resources research*, vol. 33, n.2, Logan, 309-319.

Tuinhof, A., Foster, S., Kemper, K., Garduno, H. & Nanni, M. (2004) Sustainable Groundwater Management: Concepts and Tools. *Groundwater Monitoring: Requirements for managing aquifer response and quality threats*. GWMate. Briefing Note Series Briefing Note 9. World Bank. Global Water Partnership Associate Program, 10 p.

Uil, H., Geer, F.C. & Geherels, J. C. Kloosterman (1999) State of Art on Monitoring and Assessment of Groundwaters. UN/ECE Task Force on Monitoring and Assessment. Volume 4. The Netherlands Institute of Applied Geoscience: Lelystad, ISBN 9036952778, 84 p.

United Nations Environment Programme / World Health Organization – UNEP/WHO (1996) Water Quality Monitoring – A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes. Organização Mundial de Saúde, Genebra.

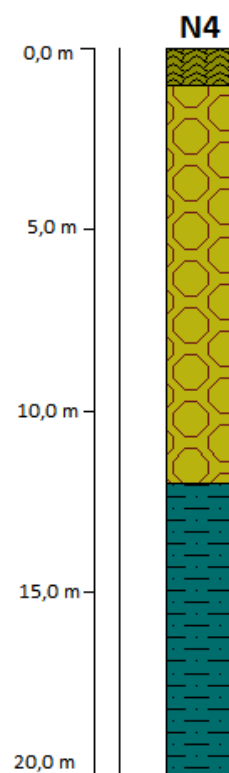
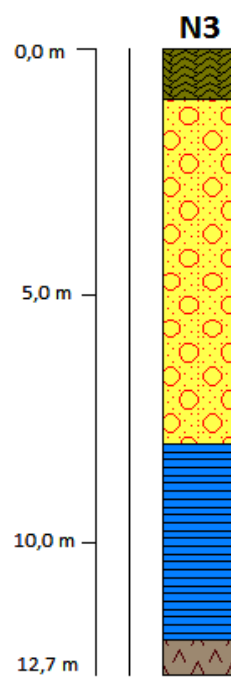
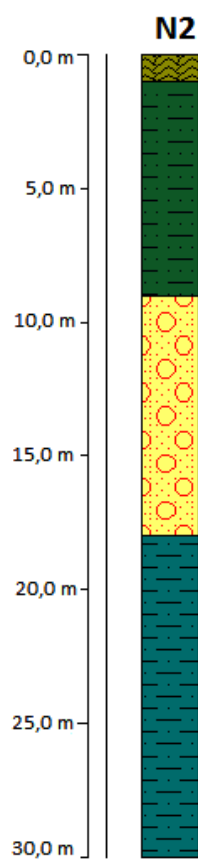
Zbyszewski, G. (1941) Contribution à L'étude des Terrains Éruptives du Cap Sines. *Comum. Serv. Geol., Portugal, Lisboa*, XXII, 85-98.

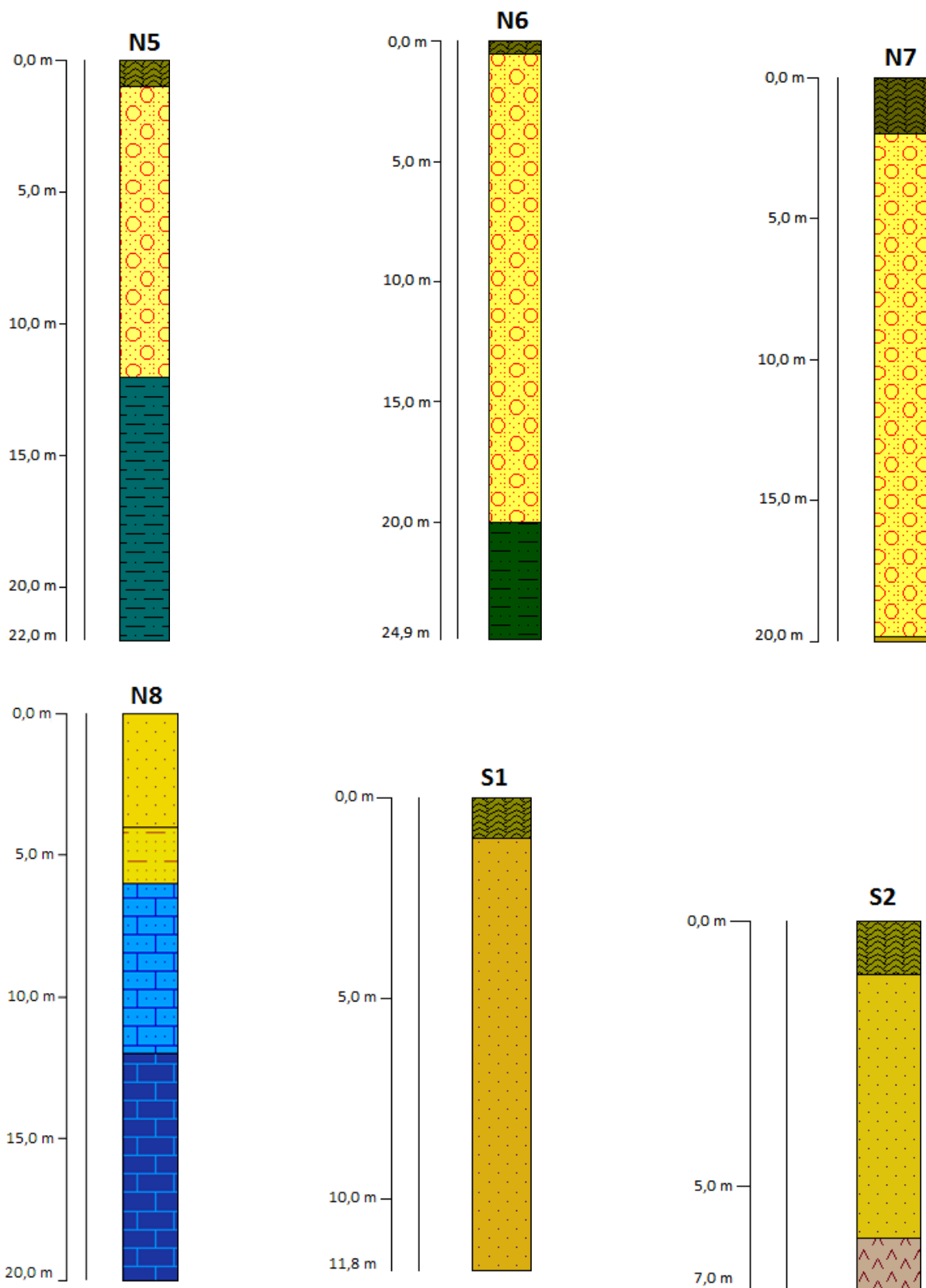
Zbyszewski, G. & Berthois, L. (1950) Contribution à L'étude Lithologique des Formations Meubles de la Partie Sud-Ouest du Portugal. *Comum. Srv. Geol., Portugal, Lisboa*, XXXI, 5-297.

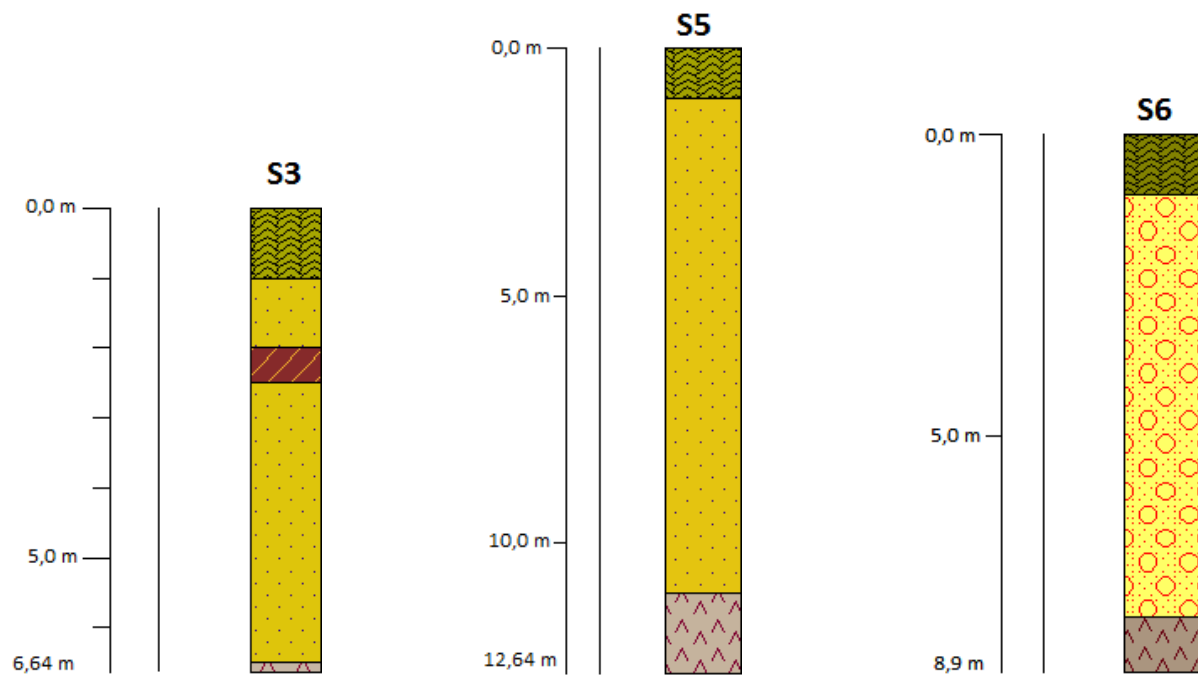


## ANEXOS

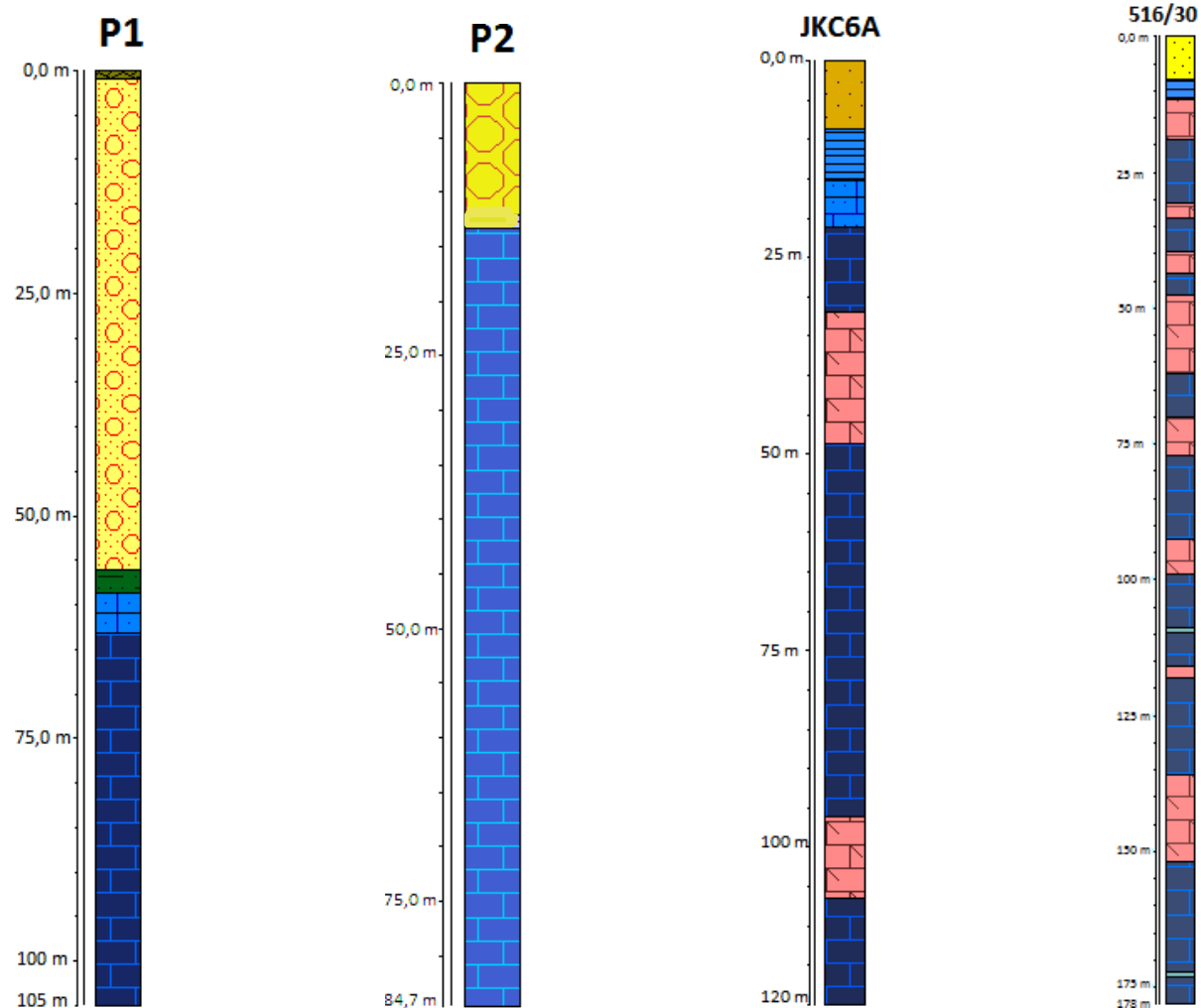
**ANEXO 1 – LOGS DAS SONDAGENS, FUROS E PONTOS DE MONITORIZAÇÃO OBTIDOS  
ATRAVÉS DO SOFTWARE ROCKWORKS E LEGENDA RASPETIVA**

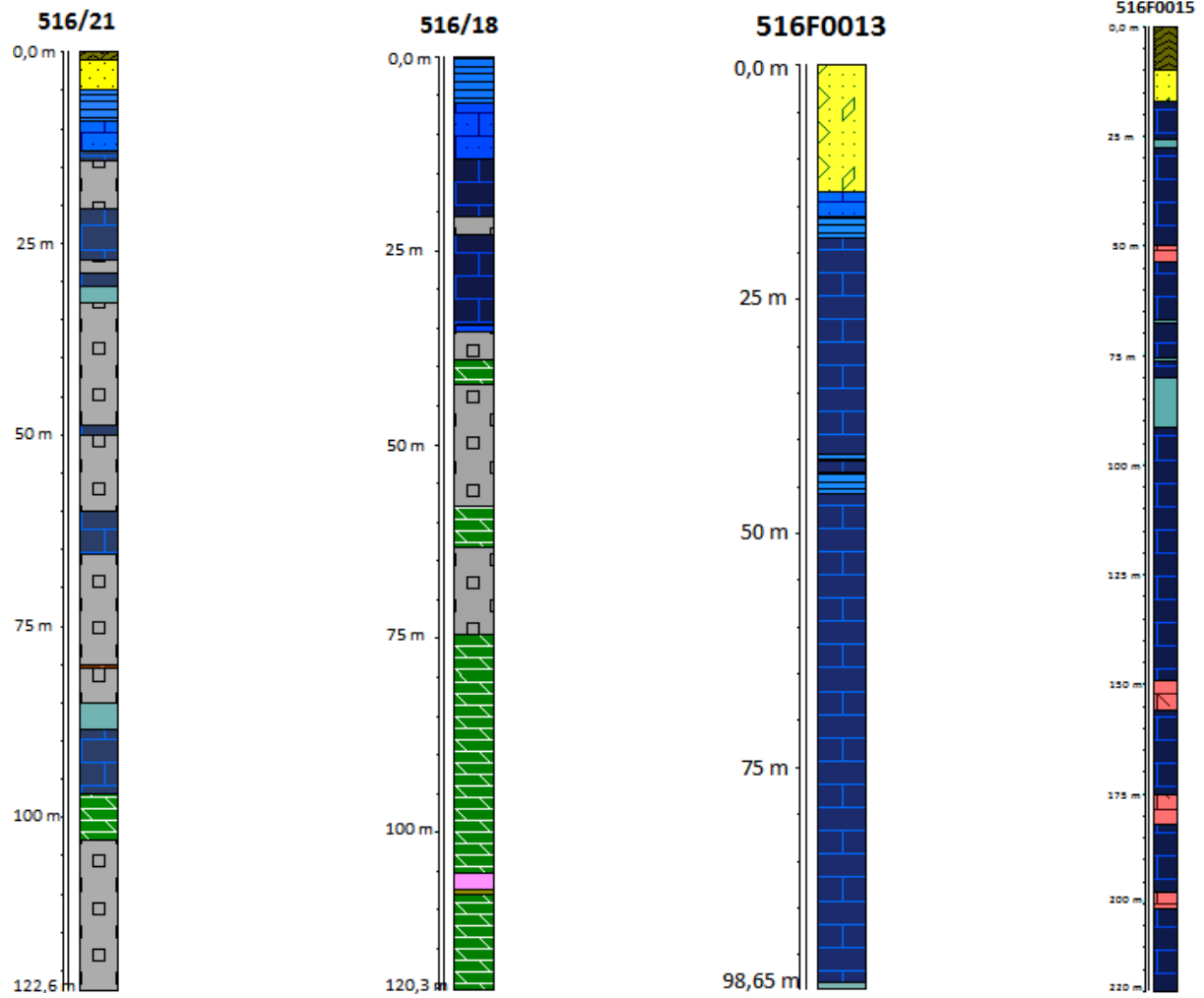


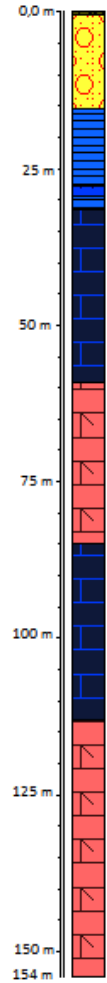
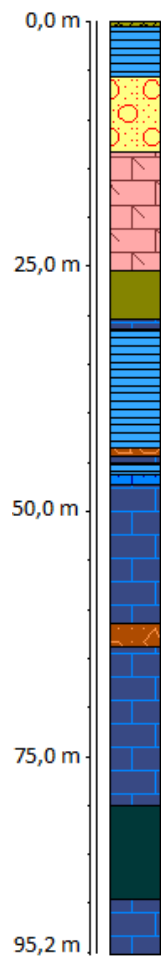
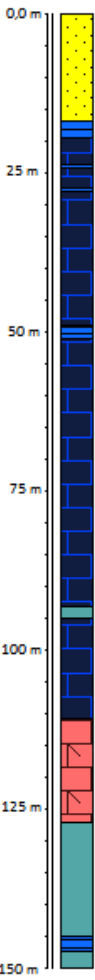































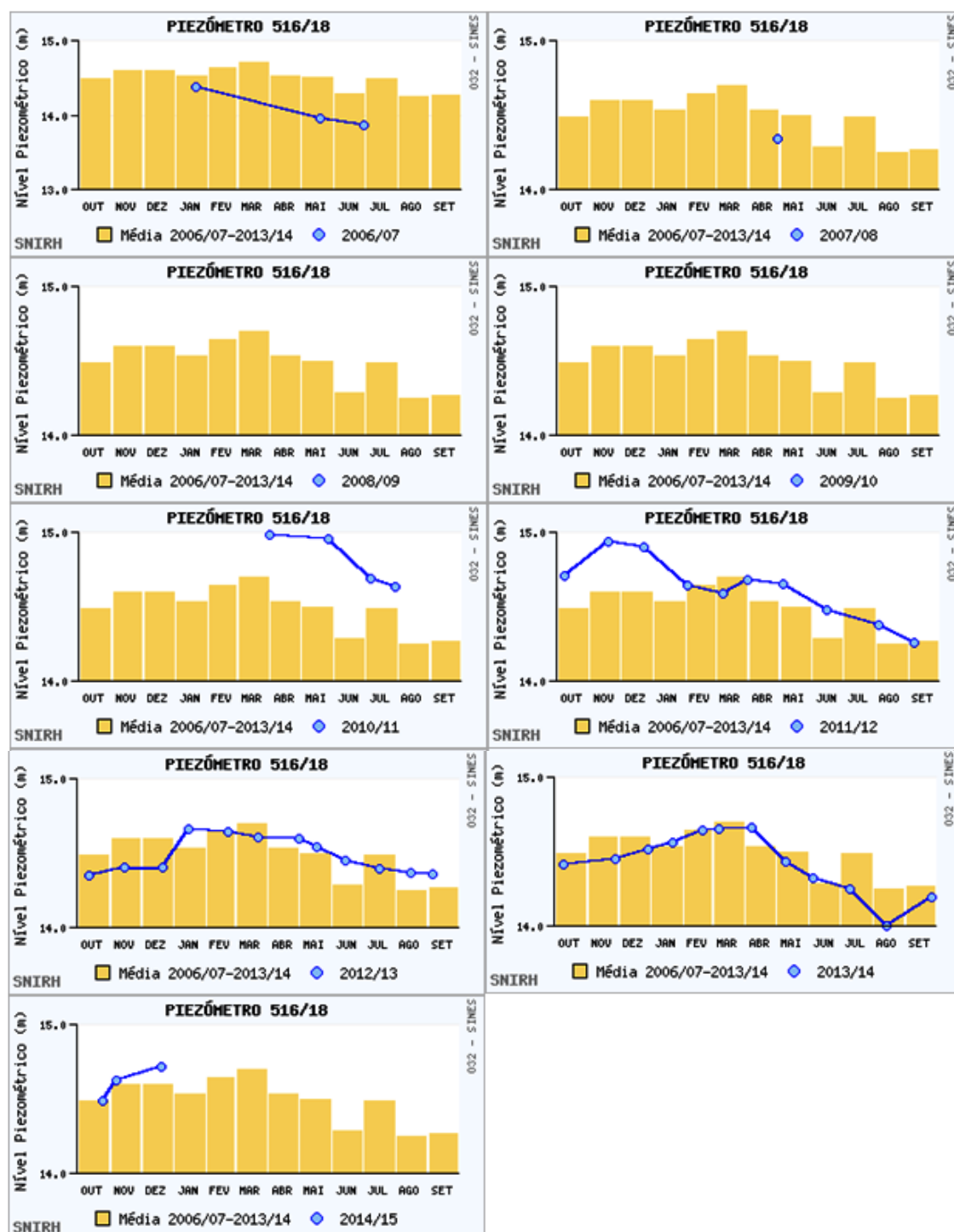






	Alternância com Siltitos
	Areia
	Areia Argilosa
	Areia de Fina a Grosselra
	Areia e Areia Siltosa
	Areia Fina
	Areia Fina a Média
	Areia Grosselra
	Areia Siltosa
	Areia Margosa
	Argila
	Brecha
	Calcarenito
	Calcário
	Calcário Margoso
	Dolomito
	Lodo
	Marga
	Metaconglomerado
	Metasedimento
	Rocha Vulcânica
	Siltito
	Solo
	Vestígios de Calcário e Siltito
	Xisto

**ANEXO 2 – EVOLUÇÃO DO NÍVEL PIEZOMÉTRICO NO PONTO 516/18 DA REDE DE  
MONITORIZAÇÃO DE QUANTIDADE DO SNIRH**



**ANEXO 3 – VALORES DOS PARAMETROS DE QUALIDADE MEDIDOS NO PONTO DE  
MONITORIZAÇÃO DE QUALIDADE DO SNIRH, 516/127**

